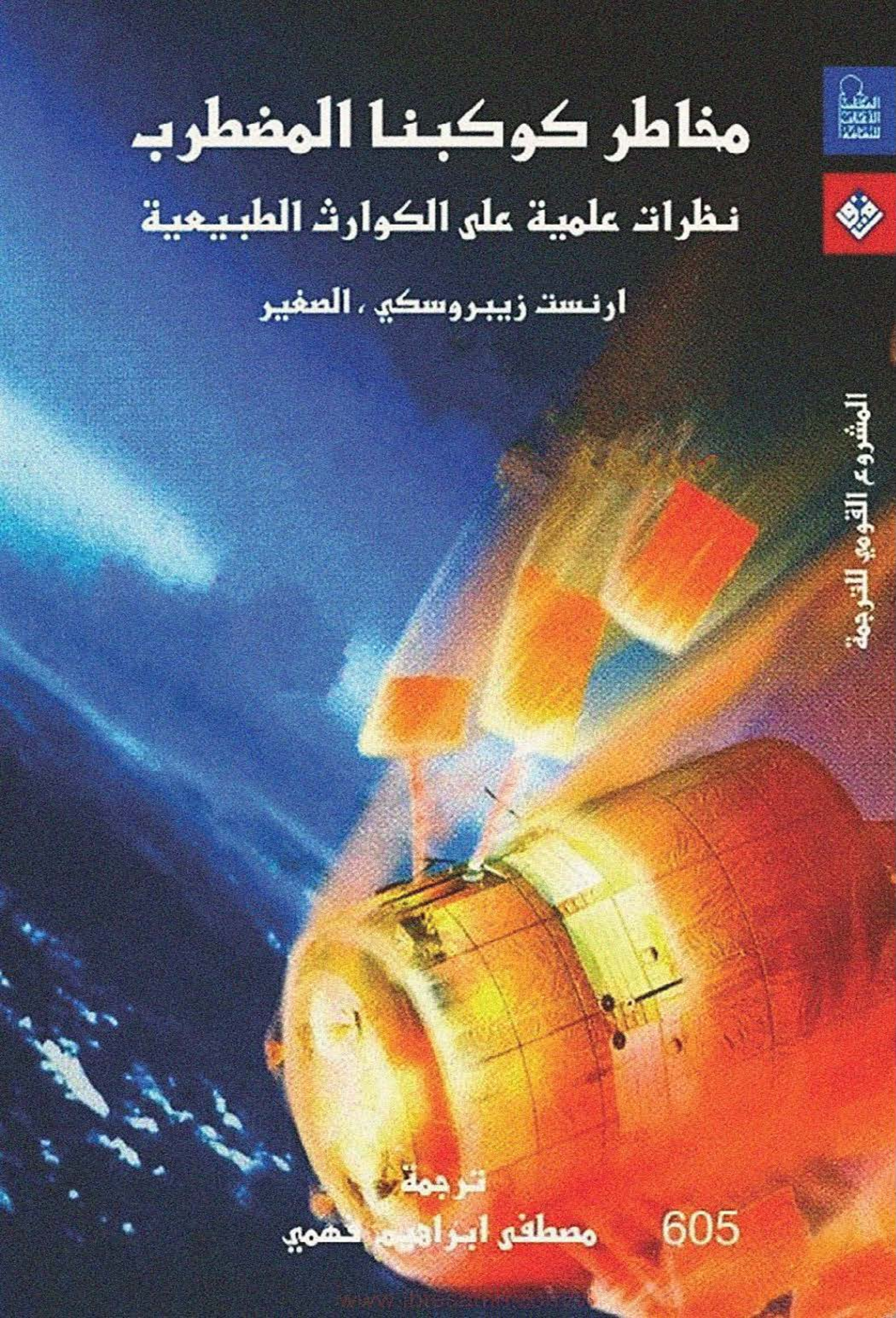
مخاطر كوكبنا المضطرب

نظرات علمية على الكوارث الطبيعية

ارنست زيبروسكي ، الصغير

المشروع القومي للترجمة



ترجمة

مصطفى ابراهيم فهمي

605

المشروع القومى للترجمة

مخاطر كوكبنا المضطرب

نظرات علمية على الكوارث الطبيعية

تأليف : إرنست زيبروسكى (الصغير)

ترجمة : مصطفى إبراهيم فهمى

المجلس الأعلى للثقافة

٢٠٠٣

المشروع القومى للترجمة

إشراف : د . جابر عصفور

- العدد : ٦٠٥
- مخاطر كوكبنا المضطرب
- إرنست زيبروسكى (الصغير)
- مصطفى إبراهيم فهمى
- الطبعة الأولى ٢٠٠٣

هذه ترجمة كتاب :

Perils of a Restless Planet : Scientific Perspectives
on Natural Disasters
by : Ernest Zebrowski, Jr.

شارع الجبلاية بالأوبرا - الجزيرة - القاهرة ت ٧٣٥٢٣٩٦ فاكس ٧٣٥٨٠٨٤

El Gabalaya St. Opera House, El Gezira, Cairo

Tel. : 7352396 Fax : 7358084.

المحتويات

* الملاحق

مقدمة المترجم

ظل البشر طوال تاريخهم يعانون من كوارث طبيعية كثيراً ما تدهمهم على غرة، وتسبب خسائر فادحة في الأرواح والممتلكات. من ذلك مثلاً ما تحدثه الزلازل والأعاصير وثورات البراكين والاصطدام بالنيازك والكويكبات وانتشار الأوبئة. ومن بين كل هذه الكوارث لم يستطع العلم الحديث ، حتى الآن ، أن يسيطر إلا على الأوبئة في المجتمعات المتقدمة. ومازال العلماء يناضلون في محاولة إيجاد النظريات العلمية التي توضح أسباب نوبات غضب أمنا الطبيعة بحيث نستطيع التنبؤ بالكوارث الطبيعية قبل وقوعها بوقت كاف أو على الأقل التخفيف ما أمكن من آثارها المروعة على البشر وتجمعاتهم السكانية.

وبهذا الهدف يبدأ كتاب "مخاطر كوكبنا المضطرب" بعرض تاريخي لبعض الكوارث التي حدثت قديماً، ثم يعرض لتطور تجارب البحث العلمية والنظريات التي سادت في تاريخ العلم الحديث. ويتناول الكتاب بعدها شتى الكوارث الطبيعية، شارحاً كلا منها ليعرفنا بأنواعه وأسبابه وأضراره. فنعرف مثلاً كيف تحدث الزلازل نتيجة تحركات في ألواح القشرة الأرضية ، وكيف أن منها زلازل رفع وزلازل خسف لهذه الألواح ، وكيف تنتج عن الزلازل والبراكين البحرية موجات بحرية هائلة "تسونامي" تغرق مدناً بأكملها وترفع السفن الراسية في الموانئ لتحط بها في صحراوات داخل الأرض بعيداً عن البحر. ويعرفنا الكتاب أيضاً بالعواصف المدمرة وأنواعها من عواصف استوائية وزوابع حلزونية وأعاصير قُمعية، وكيف تتكون وكيف تتزايد عنفاً وتدميراً لتموت في النهاية.

وإذ يعرض الكتاب هذه الأحداث منذ الأزمنة القديمة حتى الأزمنة الحالية، فإن ذلك يصاحبه أيضاً عرض لتطوير الأبحاث والنظريات العلمية والابتكارات التكنولوجية

المواكبة التى أدت إلى تقدم فهمنا لهذه الكوارث الطبيعية. ويبين الكتاب كيف تطور العلم من حتمية ميكانيكا نيوتن إلى حساب الاحتمالات والحتمية الإحصائية ثم الإنتروبيا والشواش ، والفرق بين الأخير والعشوائية. وإذا كانت بعض الآذان تجفل عند سماع مصطلحات كهذه إلا أن الكتاب يقدمها بسلاسة تجعلها جد مُيسَّرة للقارئ غير المتخصص .

كذلك يهتم الكتاب فى هذا كله بإبراز ما لايزال باقيًا من تحديات تجابه العلم، وكذلك إبراز تأثير العوامل الاجتماعية والاقتصادية فى المسائل العلمية التى دُرست فيما سبق والتى قد ندرسها فى المستقبل، ومدى ما نتوقع من إنجازات علمية ربما تتيح لنا يومًا التنبؤ بالكوارث الطبيعة فى هذا الكوكب المضطرب والتخفيف من آثارها.

والكتاب بهذا دليل للقراء فى رحلة شيقة منورة، يرشدنا بأسلوب سهل المنال لنزداد معرفة لا تهويل فيها بما قد يتعرض له سكان الأرض من مخاطر غضب الطبيعة. والكتاب يهتم فى ذلك بأمر ما لا نعرفه نفس اهتمامه بما نعرفه.

هذا وأود أن أشكر ، كل الشكر ، الراحل المرحوم د. أحمد على العريان الأستاذ بكلية هندسة جامعة القاهرة لما بذله من وقته وجهده فى تفسير بعض المصطلحات الهندسية.

د. مصطفى إبراهيم فهمى

تمهيد

نحن كبشر تشدنا صورنا السيكولوجية إلى الكوارث الطبيعية، فتشد بعضنا كمشتغلين بأعمال الإغاثة، وتشد بعضنا الآخر كموظفين عموميين أو كمهندسين لهم رؤيتهم من حيث منع وقوع النكبات فى المستقبل، ثم تشد الكثيرين كمتفرجين لهم فضولهم الثقافى. ويرقب الملايين منا نشرات الأخبار التليفزيونية عن آخر الكوارث الطبيعية وقد ناوشهم خليط مضطرب من الروع والشعور براحة شخصية، لأننا أنفسنا لسنا من المحسوبين بين الضحايا. ويغربل العلماء فى أعقاب الكارثة كل ما يتاح من بيانات ويسألون أنفسهم سؤالين أساسيين :

١ - ما الذى أدى بأمنا الطبيعة إلى أن تسلك على هذا النحو؟

٢ - كيف يمكن لنا ، نحن البشر ، أن نتوقع على نحو أفضل وقوع حدث كهذا فى المرة التالية ؟ إن هذين السؤالين ومحاولاتنا الحالية والسابقة للإجابة عنهما، والتحديات العلمية التى ما زالت تواجهنا، هى كلها خطوط متصلة تسرى خلال هذا الكتاب.

ومن الواضح أن الدراسة العلمية للكوارث هى أكبر كثيراً من أن تكون محض تمرين ذهنى. وإذ يتم تشكيل النماذج العلمية للزلازل والفيضانات والأعاصير والأوبئة والتحقق من صحتها، فإنها سرعان ما تشق طريقها فى الهندسة والطب وغيرهما من المهن، كما أن تحسُّن فهمنا العلمى للأمور ينفذ أيضاً إلى ساحة السياسات العامة، بما ينتج عنه مثلاً من تعديل لوائح الإنشاءات ، وتحسين خطط الإخلاء. ويمكننا أن نجمع هنا قائمة طويلة من النتائج الجانبية المفيدة لعلم الكوارث، وأكتفى هنا بذكر ذلك معفياً القارىء من المزيد.

والبحث العلمي الحديث لا يكون قط معزولاً عن سائر أنشطة المجتمع، ذلك أنه توجد حلقات عديدة من التغذية المرتدة التي تجعل العلم متعايشًا في تكافل متبادل وثيق مع النظام الاجتماعي الحديث. فالعلم يعتمد على الدعم المالي من المؤسسات والحكومات، وهو أيضًا يعتمد على المجتمع الهندسي في إنشاء طرائق محسَّنة لجمع البيانات المتعلقة بالموضوع ومعالجتها.

وكمثل، فإن علماء أبحاث الأرصاد الجوية مدينون دينًا عظيمًا للمهندسين الذين أنشأوا تقنيات القياس عن بُعد برادار دوبلر ، والقياسات البعيدة بالأقمار الصناعية، كما أن أخصائيي علم الزلازل قد توصلوا إلى النفاذ إلى آفاق بحث جديدة بالكامل من خلال ما حدث مؤخرًا من تقدم في مقياس التعاجل بأجهزة إلكترونية دقيقة الصغر وفي أدوات الاستشعار المتعلقة بالموضوع. وقد تقدم البحث العلمي بما يتجاوز كثيرًا المرحلة التي كان يُعتمد فيها فحسب على مشاهدات الحس البشري. وأمُّنا الطبيعة قد اختارت أن تهمس لنا بشق الأنفس بإجاباتها عن تلك الأسئلة التي تجبرنا على الاهتمام بها، ولهذا كان لابد للعلم أن ينعطف إلى التكنولوجيا حتى يوسع من مدى حواسنا البشرية الضعيفة ومن حساسيتها .

على أن العلم ليس هو التكنولوجيا. فالعلم عملية لالتماس الإجابات عن الأسئلة، أسئلة قد يثبت في النهاية أن بعضها لا يمكن الإجابة عنه، وبعضها قد يثبت أن الإجابة عنه أمر لا علاقة له بالجماهير. أما التكنولوجيا فإن لها هدفًا أكثر عملية، وهو إعادة تنظيم بيئتنا الطبيعية لتفي باحتياجات ورغبات بشرية فورية. ويحدث أحيانًا أن يتداخل النشاطان ويدعم أحدهما الآخر ، ولكنهما أحيانًا لا يكونان كذلك. وما من أحد يعرف طريقة يحدد بها بالضبط ومقدمًا أي اتجاهات البحث العلمي قد يثبت في النهاية أنها مفيدة للمجتمع. وأداء العلم يعني أن نغامر بالاندفاع فيما قد يكون ممرًا مسدودًا، فإما ألا نكتشف شيئًا، وإما أن نكتشف فقط فُتاتًا لا يستطيع أحد أن يستخدمه.

وكمثل، كان هناك مشروع بحث في اليابان نُبذ مؤخرًا، ينقب عن الصلة بين أوجه سلوك سمك السلور والزلازل الوشيكة الوقوع. وقد ثبت حقًا وجود هذه الصلة، ولكنها لا توجد إلا أحيانًا، وأصبح هذا الكشف العلمي بلا قيمة بالنسبة للمهندسين الذين مازالوا ينتظرون اكتشاف قاعدة علمية يُعتمد عليها بحيث يمكن أن ينبني عليها

تكنولوجيا للتنبؤ بالزلازل. ولكن هل كان ينبغي ألا يُجرى أبداً ذلك البحث على سمك السلور؟ إن الأمر على العكس من ذلك، فقد كان يلزم تنفيذه، وإلا كيف كان لنا بغير ذلك أن نتعلم أن هذا الاتجاه بعينه في البحث سيكون غير مثمر؟

إن العلم مدفوع دائمًا بالإحساس بالجهل، وأنا أكتب هذا الكتاب بهذه الروح. فالمجتمع يلتمس أن يفهم معنى تلك الكوارث الطبيعية التي تبدو عشوائية والتي تهدد حياة البشر ووجهودهم، والمجتمع إذ يفعل ذلك فإنه يتساءل بما هو ملائم عن التوقعات المعقولة التي يمكنه الحصول عليها من المجتمع العلمي لتساعد على التنبؤ بالنكبات التي ستحدث في المستقبل ، أو تساعد على التخفيف من أثرها. وأنا شخصياً ليس لدي إجابة نهائية أو حاسمة عن ذلك ، ولا يوجد أي شخص آخر لديه هذه الإجابة. وبدلاً من ذلك فإن ما أقدمه هو بعض وجهات نظر (أرجو أن تكون نتاج تفكير جيد) عن مختارات من النكبات الطبيعية التاريخية، وما جرى من تقدم علمي في تفهمها وما تبقى من تحديات علمية، والعوامل الاجتماعية الاقتصادية التي تؤثر في ماهية المسائل العلمية التي قد نواليها في المستقبل، وما يمكن توقعه من التوصل إلى مستوى من الفهم العلمي قد يتيح لنا يومًا ما أن نتنبأ بالنكبات الطبيعية، وأن نخفف من تأثيرها على الوجه الأمثل .

ولست أكتب للمتخصصين في الكوارث، وإنما أكتب بالأحرى إلى مجتمع أوسع يتألف من المهنيين، وصناع السياسات، والطلبة والمفكرين المستقلين في الحاضر والمستقبل، وكلهم قد يكون في اتخاذهم أو عدم اتخاذهم لقرار تأثير عميق في حياة أولئك الذين تتهددهم كوارث الغد. وإني لأكتب وأنا أرجو بإخلاص أني قد أستطيع تشجيع ولو قلة من القراء على حذف عبارة "الحس المشترك" من قاموسهم ، وأن يعملوا بدلاً من ذلك على أن يقيِّموا تقييمًا نقديًا كل الأفكار المسبقة، بما في ذلك أفكارهم هم أنفسهم. وفيما عدا ذلك، فإني لآمل أن أنجح أيضًا في أن أوصل بعض الإحساس بما يكون من الإثارة الذهنية عندما يكافح الجنس البشري للكشف عن أعمق أسرار أمنا الطبيعة مستخدمًا لذلك هذا النشاط البشري الذي نسميه "العلم" ، وهو إن كان نشاطًا غير معصوم إلا أنه يصحح نفسه بنفسه.

الفصل الأول

الحياة على القشرة الأرضية

أطول يوم من أيام لشبونة

بدأ الأمر بصباح مشرق ليوم السبت: أول نوفمبر عام ١٧٥٥ ، وانتهى بالموت والدمار بدرجة أدت إلى اضطراب دائم فى ميزان قوى النظام الاستعمارى البرتغالى. ولم يكن هذا الحدث حربًا، ولا ثورة سياسية، وإنما هو سلسلة من ظواهر طبيعية شائعة جدًا - هزات أرضية، وأمواج بحرية - حدث أنها كانت أكثر نشاطًا عن المعتاد. وبمقاييس الكوكب الأرضى لم يزد هذا الحدث عن أن يكون نوبة فواق. أما بالمقاييس البشرية فقد كان الأمر كارثة طبيعية كبرى. هى إحدى أشد الكوارث المدمرة التى أصابت أحد المراكز السكانية فى العالم الغربى.

كانت لشبونة فى فجر ذلك اليوم موطنًا لسكنى ٢٧٥٠٠٠ من الناس، وذلك بخلاف ما لم يتم إحصاؤه من البحارة والمسافرين الذين يجدهم المرء دائمًا فى ميناء نشط. وبعد ذلك بيوم كان عدد من تبقوا لا يزيد عن مئات: رجال دين يؤدون الطقوس الأخيرة للموتى، لصوص النهب يلتقطون النفائس من أنقاض المبانى المنهارة، والبعض من الأكثر شجاعة ممن نجوا أحياء يبحثون بهياج عن أحبائهم أو يحاولون إنقاذ بقايا من ممتلكاتهم الشخصية قبل أن تصبح النيران قريبة جدًا .

وتهاوى إلى الأرض فى ذلك الصباح الرهيب مئات من المبانى الحجرية الرائعة التى بنيت لتظل قائمة لقرون (إن لم يكن لآلاف السنين)، كلها سُحقت لتدفن تحتها

آلاف الأفراد. وبينما فرَّ بعض الناجين إلى التلال المحيطة، فإن الأتعس حظًا اتجهوا محتشدين إلى أرصفة السفن عند شاطئ النهر فاكتسحتهم بعيداً سلسلة من التسوناميات (أمواج بحر زلزالية). ثم أتى الحريق. وفيما تلا من أشهر الشتاء أدى العيش فى العراء والإصابات والجوع إلى مزيد من الوفيات. القائمة الكلية للوفيات؟ لا أحد يعرفها. وتراوحت التقديرات بين ٥٠٠٠ و٧٠٠٠٠ وفاة في النكبة [١] و[٢] ويذكر الفيلسوف الفرنسي فولتير الذي عاصر الحدث رقمًا من ٣٠٠٠٠ [٣] . ومعظم المراجع الحديثة تذكر عدداً للوفيات من ٣٠٠٠٠ إلى ٤٠٠٠٠ فى الأيام المعدودة الأولى من نوفمبر عام ١٧٥٥، وما يقرب من ٢٠٠٠٠ حالة وفاة إضافية فى الشهور التالية.

كانت سجلات السكان وقتها تُحفظ فى الأبرشيات، وكان فى لشبونة ٤٠ كنيسة أبرشية فى عام ١٧٥٥، دُمر منها عشرون أبرشية دمارًا كاملاً ، وأصاب الضرر كل الباقى. ولعل الكثيرين من أهل لشبونة الذين سارعوا بمغادرة المدينة قد قرروا ألا يعودوا إليها أبداً ، وإذا كان منهم من عاد بالفعل فإن بعضهم ربما لم يتجهوا إلى الالتحاق ثانية بكنائسهم. ومع ما حدث من حرائق وأمواج البحر الزلزالية لم يكن من العملى إحصاء الأجداث، ولا كان هذا الإجراء الإحصائى المخيف مُسجلاً فى قائمة الأولويات لأى فرد. ولم يكن هناك غير طريق واحد يسلكه من ينتابهم الفضول بشأن إحصاء الوفيات وهو: البدء برقم السكان الأصلى، ليطرح منه عدد السكان الذين مازالوا أحياء وموجودين بعد الكارثة، وأن يحسب الفارق كنتيجة للكارثة الشرسة. وقوانين الرياضيات تعطى أرقامًا مضبوطة. أما قوانين الإبستيمولوجيا فتضمن لنا أن الرقم المضبوط رياضياً رقم خطأ.

أما بالنسبة لما حدث بالفعل في العاصمة البرتغالية فى ذلك اليوم الرهيب فإن توثيقه من حيث الكيف يعد أكثر تماسكًا إلى حد ما[٤] . يوم الأول من نوفمبر هو عيد كل القديسين، يوم مقدس له منزلته عند الكاثوليك، وفى صباح ذلك السبت من عام ١٧٥٥ كانت كل كنائس لشبونة مليئة عن آخرها. وحوالى الساعة ٤٠ : ٩ صباحًا، روِّع المصلون فى الكاتدرائية الرئيسية بصوت رعد يتصاعد من الأرضية، وسرعان ما تزايد صوت الهزيم المنذر ليطغى على الأرغن وجوقة الإنشاد. أما المبنى نفسه فقد استجاب فى رجفة وجيزة، ثم ران الصمت على كل شيء وعلى كل فرد. واندفع بعض

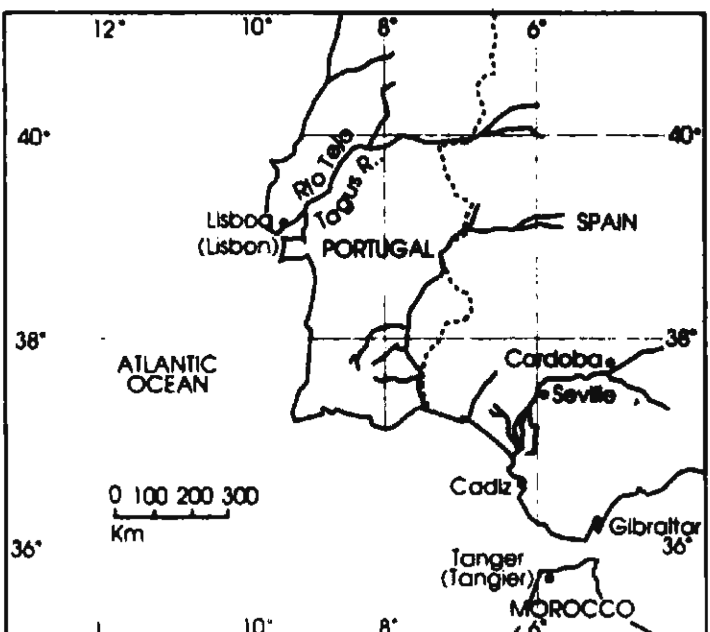
من كانوا قريبين من الداخل خارجين إلى الشوارع فى الوقت المناسب بالضبط ليشهدوا وصول سلسلة من ثلاث موجات رفعت من سطح الأرض. وقبلها كانت الشوارع المسطحة قد التوت أفقيًا ورأسيًا، ووصف المدينة من رصدوها عن بعد بأنها كانت تتمايل تمايل حقل غلال فى الريح، ولما كانت المبانى الحجرية غير قادرة على تحمل الإجهاد الشديد بالانحناء فقد تهاوت الكنائس الحجرية سريعًا فى كل أنحاء المدينة لتدفن آلافًا من المؤمنين. وارتفع من الأنقاض سحب عظيمة من تراب دقيق ، وحُجبت الشمس عن المدينة. ومن خلال ستار الغبار المتلاطم تصاعد عويل الآلام المبرحة من المصابين وممن يموتون. وعند موجة الزلزال الثالثة خرّت معظم البيوت والمبانى الصغيرة التى ظلت باقية بعد أول موجتين. وفى خلال وقت لا يزيد فى مجمله عن ثلاث دقائق كانت المدينة فى معظمها ترقد مستوية بالأرض، مدينة كانت إحدى روائع أوروبا .

والناس عندما يجابهون التهديد من قوى تفوق قدرتهم على التصدى لها، فإن رد فعلهم الطبيعى يكون الفرار. وهكذا فإن الناجين من الزلزال بادروا إلى الهرب توًا، أو على الأقل فعل ذلك من كان قادرًا عليه. وجرى المحظوظون منهم إلى التلال التى تحيط بالمدينة فى نصف دائرة. أما الأشد بؤسًا فقد اختاروا جانب شاطئ نهر التاجوس.

وتقع لشبونة على مسافة ١٢ كيلوا مترًا (ثمانية أميال) أعلى التيار من مصب نهر التاجوس، ويبلغ اتساع النهر على هذا الامتداد حوالى ٣ كيلو مترات (ميلين) فى المتوسط. وعند المدينة يزداد اتساع النهر فى خليج كبير داخل الأرض، (ماردى بالها)، ويبلغ اتساعه ما يقرب من ١١ كيلو مترًا (٧ أميال). وقد أدرك الفينيقيون منذ وقت مبكر ، عام ١٢٠٠ ق.م. أن هذا المكان بقعة ممتازة لبناء ميناء بحرى، ويوفر مرفأ آمنًا من هجمات المحيط الذى يثور غضبه من آن لآخر، وذلك بدون التضحية بسهولة التوصل إلى المحيط. وهذا الملمح الجغرافى الفريد لعب دورًا كبيرًا فى ازدهار لشبونة فى القرن الثامن عشر. ولسوء الحظ كان هذا الملمح أيضًا عاملاً رئيسيًا فى الإسهام فيما حدث من دمار فى الأول من نوفمبر عام ١٧٥٥، لم يكن أحد يتوقع التسوناميات. واندفعت أول الموجات الثلاث العظيمة من المحيط لأعلى النهر حوالى الساعة الحادية عشرة نهارًا، بعد ٨٠ دقيقة من الزلزال الأول. وانتزعت الموجة السفن من مراسيها وجعلتها ترتطم إحداها بالأخرى ، ثم قذفت حطامها عنيفًا على الجماهير التى كانت

وقتها تتزاحم فوق الشاطئ والأرصفة. ومع تراجع المياه اكتسحت معها بعيدا كل ما وجد من المستودعات على شاطئ النهر والتي كانت قد نجت من الزلزال نجاة جزئية على الأقل، واكتسحت مع هذه المستودعات كتلة هائلة من البشر. وكل الإصدارات التي نُشرت لوصف الكارثة تصف برعب كيف وصلت هذه الأمواج الهائلة من البحر وتأثيراتها المدمرة .

ويمكننا أن نجد مدى واسعًا من التقديرات فيما يتعلق بارتفاع التسوناميات [٥]، ويبدو أن أحسن رأى فى هذه المعلومات [٦] هو أن ارتفاع الموجات الثلاث الرئيسية كان يتراوح من حوالي ٤,٦ مترًا (١٥ قدمًا) إلى ١٢,٢ مترًا (٤٠ قدمًا)، وذلك بما يعتمد على الموجة التي يتحدث المرء عنها ، ومن أى مكان من شاطيء النهر كان يرصدها. ويتوافق ذلك مع تقارير بارتفاع إحدى التسوناميات إلى ٥,٥ مترًا عند قادش التي تبعد حوالي ٣٥٠ مترًا إلى الجنوب (شكل ١,١) ولنلاحظ أن ذروة موجة من ١٢ مترًا تساوى تقريبًا ارتفاع أربعة طوابق !



شكل (١ ، ١) المنطقة الجغرافية التي تأثرت بالزلزال والتسوناميات في الأول من نوفمبر عام ١٧٥٥

على أن الارتفاع وحده لا يروى القصة الكاملة للموجة التسونامية. فالتسوناميات عندما تضرب الشاطئ لا تكون فحسب ذات ارتفاع عظيم ، وإنما يكون لها أيضاً طول موجة له قدره، ويصل عادة إلى مئات الكيلومترات. وتظل الموجة التسونامية تتدفق تدفقًا متصلاً لفترة من ١٥ إلى ٣٠ دقيقة. ويتبع ذلك ذروة الموجة التالية، ذلك أن الموجة التسونامية لا تكون أبداً موجة وحيدة. ومن غير المحتمل أن يعثر على جثث من هلكوا فى موجة تسونامية، ذلك أن معظمهم يجرون بعيداً إلى البحر. والحقيقة أن التاريخ لا يمدنا إلا بروايات عدد قليل نسبياً من شهود العيان الذين رأوا التسوناميات الرئيسية فى العالم، وذلك لسبب بسيط، هو أنه لا يبقى حيًا سوى عدد قليل من شهود العيان .

ويقدر ما كانت التسوناميات مدمرة للمبانى التجارية والعامة، إلا أن هذه الموجات الهائلة لم تمتد قبضتها إلى الأراضى الأكثر ارتفاعًا حيث كانت معظم الإنشاءات السكنية قائمة، وبحلول أوائل فترة الأصيل ربما ظن سكان لشبونة الذين نجوا من الزلزال وموجات البحر أن أسوأ ما فى المحنة قد انتهى أمره. وإذا كان هذا ظنهم فقد كانوا مخطئين جداً فيه. ففى خلال ساعات معدودة تدافعت الحرائق الصغيرة المتناثرة التى أشعلتها المواقد والمصابيح المقلوبة لتصبح ، بسبب هجوم الرياح العنيفة ، حريقًا هائلاً ضخماً. وأخذت الشظايا من بقايا منشآت المدينة تمد النار بالوقود، حتى اكتمل دمار المدينة بالحريق. وقد ناقش أحد الكتاب فى عام ١٩٠٢ ذلك الحدث فتجاسر على تقييمه بأن "هذه النيران التى دامت أربعة أيام لم تكن كلها بلاء، فقد التهمت آلاف الجثث التى كانت بدون ذلك ستلوث الهواء لتضيف الأوبئة إلى البلايا الأخرى التى أصابت الناجين [٧]. والحقيقة أن لشبونة قد خبرت تفشياً للطاعون فى وقت متاخر حتى عام ١٧٢٣، وكانت ذاكرة الكثيرين من الناجين تعود وراء بما يصل إلى هذا الوباء. على أنه يجب على الواحد منا أن يتساءل عما إذا كان الذين دُفنوا أحياء فى الأنقاض سيوافقون على أن الحريق كان نعمة .

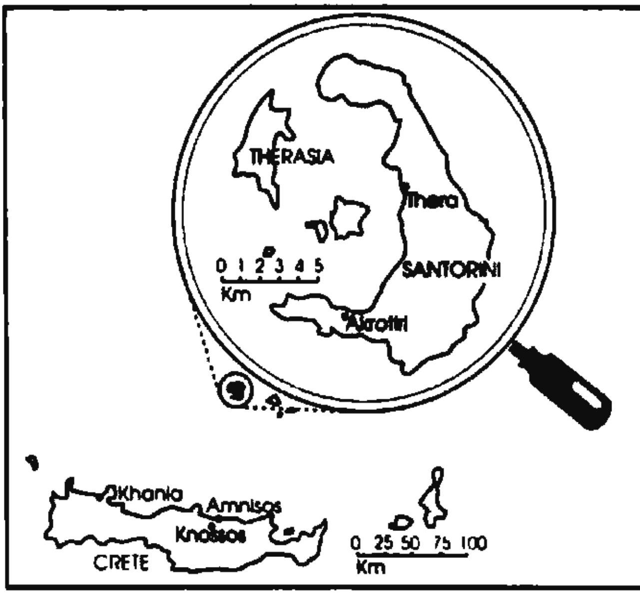
وعندما خمدت فى النهاية جذوة النيران، جوبه الناجون بحقيقة فظيعة ، وهى أن معظم إمدادات طعام المدينة قد احترقت أو اكتُسحت إلى البحر. وكان الشتاء يقترب. وتفشى النهب والسلب (الذى أرجعه بعضهم إلى تصدع السجون أثناء أول الزلزال)، وسُجل المزيد من الجرائم. وقيل إنه فى الأيام التى تلت الكارثة مباشرة وصلت قيمة

رطل الخبز إلى أوقية من الذهب. وعلى الرغم من أن قصر لشبونة قد دُمر أغلبه، إلا أن الأسرة المالكة كانت لحسن حظها في ذلك الوقت في منتجعها الريفي في بيليم. وعندما عاد الملك خوزيه إلى لشبونة - ٣٧ سنة من العمر - أمر بأن تشترى الدولة كل الإمدادات المتاحة من الحبوب، وأمر بإنشاء نظام لتوزيع معونات من الطعام والإمدادات الطبية. وأُعلنت الأحكام العرفية في الرابع من نوفمبر، وتم خلال أيام معدودة تنفيذ حكم الإعدام في أربعة وثلاثين فرداً بتهمة النهب. ووقع على عاتق بومبال وزير الملك مسئولية التنسيق ما بين المعونة، والحفاظ على السلام واستقرار الوضع الاقتصادي وإعادة البناء، وانتهز الوزير هذه الفرصة لينطلق بنفسه كديكتاتور طيلة اثنين وعشرين عاماً من عمله .

كان الزلزال الأصلي محسوساً في كل شبه جزيرة أيبيريا، وبعض أجزاء من فرنسا وإيطاليا وأجزاء من شمال أفريقيا [٨] وكانت هناك تقارير، يحتمل الشك في أمرها، بأن إحدى مدن المغرب التي يسكنها ٨٠٠٠ نسمة قد ابتُلعت بالكامل في شق أرضي[٩] . وسُجل وجود أمواج بحرية في إنجلترا وأيرلندا وجزر الهند الغربية، (وإن كانت هذه الأمواج بالطبع لم تعد تطرح أي تهديد كبير بعد انتقالها لمسافات كهذه). وقد قُدرت شدة الزلزال بعدها بأنها ٨,٧٥ درجة بمقياس ريختر، وإذ كان هذا تقديراً دقيقاً فإنه يجعل من هذا الزلزال واحداً من أقوى ثلاثة أو أربعة من الزلازل التي خبرها كوكبنا في آخر مائتين وخمسين سنة.

وظل الكثيرون ممن نجوا من زلزال لشبونة وهم يعيشون في السنة أو السنتين التاليتين في خيام أُقيمت في التلال. وكان معظمهم غير متلهفين على العودة إلى خرائب المدينة، ذلك أنه كانت هناك توابع متصلة للزلزال: فحدثت ٣٠ هزة تابعة في أول أسبوع بعد الكارثة، وهزة عنيفة في ٨ نوفمبر، وزلزال له قدره في ١١ ديسمبر. وسُجل في أغسطس من عام ١٧٥٦ أنه قد حدثت ٥٠٠ هزة تابعة منذ أول نوفمبر السابق. وبالطبع فإنه ما من هزة من هذه الهزات يمكن تقديرها كمياً حسب المعايير العلمية الحديثة. فعلم الزلزال (السيزمولوجيا) وما يدعمه من الأجهزة لم يظهر إلا في أواخر القرن التاسع عشر. وقد أعيد بناء برشلونة في النهاية بالاعتماد على ثروة المستعمرات البرتغالية (وأبرزها من البرازيل) وبواسطة المعونات الأجنبية التي تدفقت على البلد

بركانى مازال تاريخه المضبوط موضوعاً للنقاش بين علماء الطبيعة والآثار، وأنا إذ أنكر أن تاريخه هو عام ١٦٢٦ ق.م. أتخذ بذلك جانب علماء الطبيعة. (جدول ١، ١) (١١).



شكل (١ ، ٢) جزيرتا بحر إيجه، سانتوريني (ثيرا) وكريت

جدول ١ ، ١ تاريخ انفجار بركان ثيرا فى العصر البرونزى

التاريخ (ق.م)	عدم اليقين سنوات	التاريخ (ق.م)	العينات
١٦٤٠	٣٠	كربون - ١٤	أشجار مدفونة فى أول تساقط رماد
١٦٢٦	١	حلقات الشجر	صنوبريات الأقماع الهُلبية فى الولايات المتحدة (موقوفة النمو)
١٦٢٦	١	حلقات الشجر	البلوط فى مستنقعات التحلل الأيرلندية (عينات متداخلة)
١٦٤٣	١	كيميائى	قلوب الجليد فى الصفحة الجليدية فى جريلند (الثلج الحمضى) .
١٦١٧	~ ٢٠	أدب	مخطوطات قديمة صينية
١٥٠٠	~ ٥٠	أساليب فنية	فخار مينوى
١٥٠٠	~ ٥٠	أساليب فنية	فخار ولوحات مقابر مصرية

المصدر : انظر المصادر المذكورة فى هامش (١١) الفصل الأول .

يُعد وجود أوجه من عدم اليقين خاصية ملازمة لكل البيانات العلمية. على أن هذا لا يعني أن أوجه عدم اليقين هذه مجرد توصيف غامض مع التلويح بالأيدى، ذلك أنه عند التطبيق، فإنه حتى تقديرات عدم اليقين يجب أن يتم إثباتها من خلال معايير تحليلية صارمة حتى يُقبل نشرها فى أى إصدار علمي. ومع ذلك، لن يكون من المفاجئ للعلماء الممارسين أن يجدوا أن البيانات التي تتولد من تكنيكات مختلفة تُطبق على عينات مختلفة هي بيانات لا يتفق أحدها مع الآخر. وأنها لتكون مفاجأة حين "تتفق" هذه البيانات. وعندما يحدث ذلك يأخذ العالم فى الارتياب فى أن هناك بعض عناصر من حقيقة أساسية يكمن فى الأساس من كل الرياضيات التجريدية وجداول البيانات .

وفي يومنا هذا لا يشك أي عالم آثار فى التفاصيل الجوهرية لهذا الحدث: مدينة حديثة رائعة في العصر البرونزى، فيها مياه جارية ومبان للإقامة متعددة الطوابق، ومعايير اجتماعية فيها مساواة للجنسين (بالحكم من فنونها)، وقد دُفنت هذه المدينة فى رماد بركاني حافظ على عجائبها ليعاد اكتشافها بعد ذلك بستة وثلاثين قرنًا. وفى الوقت نفسه، فإن ما يزيد على النصف الباقي لهذه الجزيرة الصغيرة قد تفجَّر فى جو الأرض ليندفع البحر فيملأ الفراغ. ومازال الكثير هنا ينتظر اكتشافه، ولكن النقاش الأثرى الرئيسي الذى يدور حاليًا هو عما إذا كان من الممكن أن نربط جائحة الانفجار البركاني فى ثيرا حوالي عام ١٦٠٠ ق.م. مع حدث آخر أشد عمقًا وإلغازًا: وهو ما تلا ذلك من موت كل الحضارة المينوية(*) التى كانت تزدهر وقتها فوق شواطئ كريت المواجهة للشمال. ويقتنع كتاب كثيرون (أنا منهم) بأنه توجد هنا حقًا صلة أساسية. على أنه لو كانت كارثة ثيرا قد وقعت متأخرة بقرن، لكان من الأسهل علينا الآن كثيراً أن ننشئ حججًا لا تُفند لتدعم هذا الرأى. وعلى كل، فإن أشغولة العلماء هو أن يكونوا من المتشككين، ومازال الكثيرون منهم يتشككون حاليًا فى أن انفجار ثيرا فى العصر البرونزى كان له أى عواقب تمتد بعيداً لما يتجاوز هذه الجزيرة الصغيرة. على أنه لا يوجد قط من يشك فى أن الانفجار قد دمر حقًا الحضارة المحلية.

(*) الحضارة المينوية : حضارة قدمية فى جزيرة كريت (٢٠٠٠ - ١١٠٠ ق.م) (المترجم).

ومدينة ثيرا الحالية، بمبانيها وقبابها ذات البياض الناصع النقى، قد بُنيت بحيث تصل تماماً حتى حرف جرف ارتفاعه ٣٠٠ متر (١٠٠٠ قدم) وينحدر هذا الجرف إلى البحر بما يكاد يكون انحداراً عمودياً. ولا سبيل لأن نلتقط لثيرا أى صورة ضوئية لمناظر سيئة، ونحن نرى مشاهد متنوعة لهذه المدينة تتكرر المرة بعد الأخرى في ملصقات السياحة اليونانية. وعلى الرغم من أن الكثير من مبانى ثيرا يبلغ عمرها قروناً، إلا أنه ليس من دليل يبين أن ثمة شيئاً قديماً حقًا فى المدينة نفسها. ومنذ خمس عشرة سنة لا غير، كانت الطريقة الوحيدة للتنقل بين المدينة والبحر هى ركوب حمار ينحدر أسفل درب مدرَّج متعرج منحوت في الجرف. وحالياً يمكن للأفراد الأقل مغامرة أن يركبوا مركبة معلقة حديثة .

وسفن الرحلات التى تقف هنا لا تستطيع إسقاط مرساتها، بسبب عمق المياه العظيم، وهكذا بُنيت مراس خاصة ملائمة لها. وعلى مقربة من منتصف الخليج الأزرق العميق تقع الجزيرة البركانية الصغيرة التى تخلو عملياً من الحياة ، وهى جزيرة نى كامينى أو "المحروقة حديثًا". وعلى الرغم من أن هذا البركان يبرز فقط لارتفاع ٣٠ متراً (١٠٠ قدم) أو ما يقرب فوق الماء المحيط به، إلا أنه قد أعاد بناء نفسه بالفعل لارتفاع ٤٥٠ متراً (١٥٠٠ قدم) من قاع البحر أثناء الألفيات الثلاث التى مرت منذ انفجاره الكارثى جداً. ومن السهل أن يصل الزوار الفضوليون إلى البركان بالقوارب وأن يطوفوا حول الكيلو مترات المربعة المعدودة من حرف اللابة(*) الحاد، وينعموا النظر إلى ست مخارج أو ما يقرب مازالت تلفظ بما يكاد يكون دائماً بخاراً محملاً بالكبريت. وعندما نقف فوق نى كامينى وننظر وراء المدينة، سنرى مشهداً دراميًا للجرف الذى جُزَّ من ذلك القسم من الجزيرة الذى أصبح الآن مختفياً، وقد جُزَّ منه فى ذلك الانفجار الجائح الذى حدث منذ ما يقرب من ستة وثلاثين قرناً. ومن الواضح أن هذا لم يكن المكان الملائم لأن يوجد فيه أحد فى عام ١٦٢٦ ق.م.

سواحل الجزيرة الرئيسية الجنوبية والشرقية فيها شواطئ سوداء عديدة تشابه ما يوجد فى بعض السواحل الشرقية لجزيرة هاواى. والمادة الموجودة فوق هذه

(*) اللابة أو اللافا حمم من مصهور الصخر تسيل من فوهة البركان ، ويطلق أيضا على الصخر الصلب الناشئ عن تبرد الحمم (المترجم) .

الشواطئ لها قوام مقارب للرمل ، ولكنها فى الحقيقة لابة بركانية تحولت إلى مسحوق بفعل إجهاداتها الداخلية هى نفسها عندما بردت سريعاً بملامستها لماء البحر، ثم سُحقت أكثر بفعل الأمواج. وفى المنطقة المجاورة مباشرة يوجد عشرات من حقول الكرم الصغيرة، وإن كانت مزدهرة، كما توجد عشرات من معاصر النبيذ التى تدار عائليًا. وكل المياه يجب أن تُستمد من آبار عميقة؛ فالتربة البركانية العميقة مسامية جداً بحيث لا تتيح تجمع المياه السطحية.

ويوجد فى الجزء الجنوبى من الجزيرة قرب مدينة أكروتيرى حفريات أثرية رائعة : هكتارات(*) عديدة أسفل سقوف من زجاج الألياف حيث ظل الباحثون المتفانون يعملون منذ عام ١٩٦٧، فيحفرون فى كل مرة ملء ملعقة، للكشف عما يدل على حضارة ثيرا قبل النكبة (شكل ١، ٣). ومعظم الأمتار العشرين (٦٥ قدماً) من الرماد البركانى الذى كان يدفن الموقع ذات يوم، قد تآكلت بفعل القوى



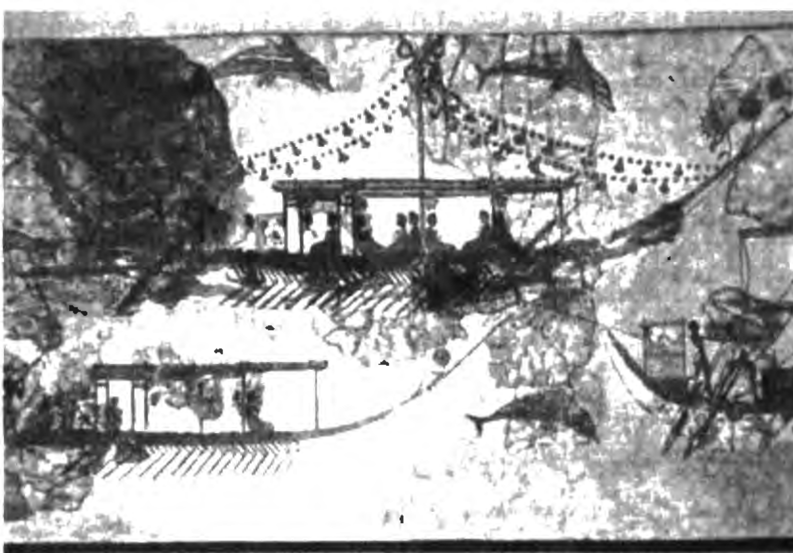
شكل (١، ٣) منظر للحفريات الأثرية فى أكروتيرى

(*) الهكتار وحدة مساحة تساوى عشرة آلاف متر مربع (٢.٥ فدان مصرى) . (المترجم) .

الطبيعية عبر القرون، وبدأت مصنوعات الإنسان تبدو متسللة من التربة من آن لآخر منذ أربعينيات القرن. وأدى الحفر المنتظم إلى إزالة التربة بما يساوى حتى الآن بلوكين من مدينة كان قطرها الكلى على الأقل ١,٥ كيلو مترًا (١ ميل). والإنشاءات الوحيدة التى كشف عنها حتى الآن إنشاءات سكنية، فنحن لا ندرى شيئًا عن المبانى العامة أو القصور (إذا افترضنا وجود أى منها). وبالمعدل الحالى للحفر، مازال أمامنا هناك أداء ثلاثمائة عام على الأقل من العمل الأثرى. بدأ سبيرودون مارينا توس، المفتش العام السابق لآثار اليونان، فى دراسة الأدلة على كارثة ثيرا القديمة فى عام ١٩٣٢، واستمر يفعل ذلك (على نحو متقطع) حتى مات عند حفرياته فى أكرو تيرى عام ١٩٨٨ (١٢) وتم دفنه فى بقايا أحد المبانى القديمة، ومدينة العصر البرونزى التى اكتشفها لا وجود لها فى كتب التاريخ، ولم يُعثر على أى سجلات مكتوبة تلمح حتى إلى اسمها الأصلى. وأحيانًا يُشار إليها حاليًا على أنها أكروتيرى، على اسم القرية التى تعلوها مباشرة فوق السفح، والأغلب أن تشير إليها الأدبيات الحالية على أنها "ثيرا" الاسم القديم للجزيرة والاسم الحالى للمدينة الرئيسية فى الجزيرة. وثمة أمر واحد ظاهر: وهو أن أكروتيرى القديمة كانت رائعة! فكان فيها مياه جارية بما يسبق بألف عام أى مدينة أخرى نعرفها. وبعض هذه المياه كانت تجرى من خلال المدينة فى برابخ حجرية مفتوحة، ولكن بعضها أيضًا كان يجرى خلال مبانٍ سكنية لها مراحيض وحمامات داخلية. (وأحد التخمينات الحديثة غير المؤكدة يرى أن بعض هذه الجداول كانت تحمل ماء ساخنًا يستمد من منابع أرضية ساخنة). والمبانى السكنية كانت ترتفع إلى طابقين وثلاثة وأربعة طوابق. وتبين طريقة تشييدها أدلة على بعض فهم على الأقل للهندسة الزلزالية ؛ فالجدران تنحو لأن تلتقى عند زوايا مائلة بدلاً من الزوايا الرأسية، والعتبات العليا للنوافذ وأطر الأبواب مصنوعة من الخشب بدل الحجارة (الخشب يقاوم تحميل الشد الديناميكى أفضل كثيراً من الحجر). وقد امتلأت المبانى بأعمال فخار جرى صنعها على نحو بارع. وتم العثور على أدوات برونزية، بل وحتى على قطعة زجاج يبدو أنها عدسة .

على أن أكثر ما له علاقة بالموضوع هو الفن : فكل مسكن خاص تم الكشف عنه حتى الآن فيه العديد من الجدران الداخلية التى تغطيها لوحات فريسكو(*) رائعة تنافس فى جودتها أفضل الفنون "العامة" التى عُثر عليها فى الحفريات القديمة الأخرى (١٣) والنباتات والحيوانات المصورة فى لوحات الفريسكو هذه تجعل من الواضح أن هذه الحضارة القديمة كانت تتاجر مع أفريقيا الشمالية والشرقية، والرجال والنساء يمثلون فى اللوحات فى مساواة.

ويبين شكل (١ ،٤) بعض السفن، ولكنها تبدو كسفن تجارية أولى من أن تكون سفناً حربية. والحقيقة أنه لا توجد أى لوحة واحدة من لوحات الفريسكو التى كشف عنها تظهر ، حتى ولو من بعيد ، أى موضوع رئيسى حربى أو سياسى أو موضوع من تطرف قومى. وهذه الاكتشافات تبدو فى تباين درامى مع معظم أعمال الفن التى كشف عنها فى مواقع أثرية أخرى يرجع تاريخها إلى الألفيتين التاليتين .



شكل (١ ، ٤) إحدى جداريات العصر البرونزى الكثيرة التى اكتشفت فى أكروتيرى

(الصورة بإذن من متحف الآثار القومى، أثينا)

(*) الفريسكو لوحات جصية جدارية . (المترجم) .

يجب أن نتذكر هنا أن الأفراد لا يستثمرون مواردهم في الفن إلا بعد أن يستوفوا ما هو أكثر ضرورة من احتياجاتهم البشرية. نعم، يحدث أحيانًا أن تصنع حكومات قمعية أعمال فن عام بأوامر تكليف بينما شعوبها تنقصها الاحتياجات الأساسية، على أنه عندما يحدث ذلك، فإن هذا الفن يصور موضوعات تدعم الفلسفة السياسية التي تقرُّها الدولة وقتها. أما في أكروتيري فقد وجد الأثريون فنًا خاصًا بحجم الجدران، ووجدوا الكثير من ذلك، ولكنهم لم يجدوا "أي" فن يعكس موضوعات عن السلطة السياسية أو العسكرية. وهم على الأقل حتى الآن لم يعثروا مطلقًا على أعمال فن عام.

والاستنتاج الذي يفرض نفسه أن هؤلاء كانوا أفراد شعب راق ومزدهر ومسالم ويؤمن بالمساواة. (وطبيعي أن ذلك لا يتبعه أنهم كانوا بالضرورة ديمقراطيين، والحقيقة أنهم ربما كانوا محكومين بالمستبد العادل، أي الملك الفيلسوف حسب رأي أفلاطون الأسطوري). « وفي » الوقت نفسه كان من الواضح أيضًا من أعمال الفن ومن القليل من بقايا الكتابات التي اكتشفت أن أكروتيري القديمة هي وكريت الحالية لهما لغة مشتركة وثقافتان متقاربتان تقاربًا وثيقًا.

ويمكن للمرء عند وجود ريح مواتية أن يسافر من ثيرا إلى كريت في أقل من يوم، حتى في الأزمنة القديمة. ويبدو أن سكان أكروتيري كانوا ملاحي بحر بارعين مثلما كان أولاد عمومتهم المينويين فوق جزيرة كريت الأكبر من جزيرتهم.

كشفت الحفريات في أكروتيري عن هياكل عظمية للقليل من الحيوانات، ولكن (وحتى كتابة هذا) لم تكشف عن أي بقايا لضحايا من البشر، ولم تكشف واقعيًا عن أي عملات أو حلي أو غير ذلك من النفائس التي يسهل حملها. ويطرح هذا أن البركان قد أعطى إنذارًا كافيًا، وأن الجماهير كانت قد بلغت درجة من الحذق كافية لأن تتنبه للأمر.

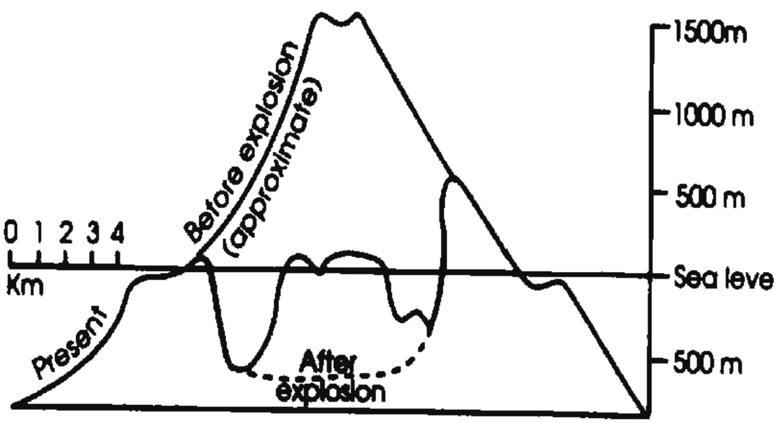
والحقيقة أن حفريات الرماد المتهايل تطرح أنه قد مر عام أو عامان بين هجرة أكروتيري ووقوع الانفجار البركاني الجائح الذي دفن المدينة طوال القرون الستة والثلاثين التالية.

ولكن أين ذهب هؤلاء الناس؟ على الرغم من عدم وجود أى دليل قوى، إلا أنه يبدو مرجحًا أن معظمهم قد ذهبوا إلى كريت، على الأقل فى أول الأمر. وتطرح المراجع الإنجيلية أن بعضهم ربما هاجروا أيضًا إلى فلسطين (يقال إن قدماء الفلسطينيين فى مقطع يهوذا من الكتاب المقدس قد أتوا من "كافتور" أو كريت). والربط بين الوثائق الأخرى القديمة يدعم التخمين بأن بعض المهاجرين عادوا ليستقروا على الساحل الغربى لإيطاليا ، وعلى الساحل الشمالى لأفريقيا. ولكن بصرف النظر عن المكان الذى ذهبوا إليه، تظل هناك حقيقة مؤسية هى أن ما كان فى موطنهم من عظمة لم يتكرر أبدًا فى أى مكان آخر فى العقود التالية.

إن احتياجات البشر الأكثر إلحاحًا يكون لها الأولوية فوق إنشاء التكنولوجيا والفن. وإذا أصبح الحرفيون مسنين وماتوا قبل أن يجدوا الفرصة لتمرير معرفتهم المتخصصة، فإن المجتمع بأسره يرتد بخطوة كبيرة إلى الوراء.

"لماذا" آمنوا بأن عليهم أن يرحلوا، وكيف تمكنوا من أن يتفقوا جميعًا بهذا الشأن؟ بالاستفادة من تبصُّرنا وراء، يمكننا حاليًا أن نقر بأن الإخلاء كان هو القرار الصحيح. ولكن مع ما يحدث من ديناميات مشوشة عند اتخاذ قرار بشرى، ما الذى أجبر قدماء الأكروتيريين على الاتفاق فى ذلك الوقت؟ ومع انعدام أى دليل ثقافى على وجود قوة شرطة أو جيش قويين، فإن من غير المحتمل أن يكون الإخلاء قد فُرض بالأحكام العرفية. ومن الناحية الأخرى فإن من غير المحتمل أيضًا أن أكروتيرى كانت المستعمرة الوحيدة فوق جزيرة ثيرا قرابة عام ١٦٣٠ ق.م، ومن الممكن بسهولة أنها لم تكن إلا واحدة من مجموعة صغيرة من المدن فوق الجزيرة فى ذلك الوقت. ومستوى التجارة الذى يتمثل فى لوحات الفريسكو التى كشف عنها هو ببساطة مما لا يتفق وحجم المدينة الوحيدة التى تم اكتشافها. والحقيقة أنه قد عُثر على القليل من الهياكل العظمية البشرية مع مصنوعات يصل تاريخها إلى قرابة عام ١٦٠٠ ق.م. وقد وُجدت مدفونة فى الرماد البركانى عند الطرف الشمالى من الجزيرة، حيث لم يتم بعد إجراء حفريات منتظمة. هل سنجد هنا أيضًا مدنًا قديمة؟ من المحتمل تمامًا أن نجد ذلك. (أما بالنسبة لنصف الجزيرة الذى تفجر فى الجو، فإن أى دليل على النشاط البشرى قد تبخر بلا رجعة منذ ستة وثلاثين قرنًا).

كان بركان ثيرا القديم يبرز لارتفاع يبلغ نحو ١٥٠٠ متر (٥٠٠٠ قدم) فوق البحر (شكل ١، ٥) ولكنه فيما يُحتمل كان يتمركز عن قرب وثيق من موقع نى كامينى الحالي. ولو كانت نى كامينى ستنفجر أثناء زيارتنا حاليًا للجزيرة، فإن فرصة نجاتنا تكون أفضل لو كنا - بما هو صحيح - نحتسى الجعة عند الموقع الأثرى فى أكروتيرى!



شكل (١، ٥) قطاع عرضى لثيرا يجرى من جنوب غرب إلى شمال شرق. لاحظ أن التدريج الأفقى قد ضُغط (معدله عن ج . ف.لوسى "نهاية أطلانطيس" (أثينا: إفستاثياديس وأولاده، ١٩٨٢)

وإذن، فإن ما يُعد حدسًا معقولاً هو: أن أكروتيرى القديمة لم تكن إلا واحدة من مدن كثيرة فوق جزيرة ثيرا عام ١٦٢٨ ق.م. وبسبب بقاء البركان خامداً طيلة ألفين من السنين [١٤] فإن السكان لم يعتبروه تهديداً لهم (مثلما لا يعتبر سكان نابولى أن بركان فيزوف حاليًا يتهددهم). وعندما عاود البركان الاستيقاظ، أدت تفجراته الأولى وتساقُط الرماد إلى أن تدمر المجتمعات الأكثر حساسية فى الأجزاء الشمالية والغربية فى الجزيرة. وأدى ذلك إلى إصابة الأكروتيريين بصدمة جعلتهم يأخذون البركان مأخذًا جديًا، فرحلوا - ولعلهم كانوا يتوقعون كل التوقع أن يعودوا يومًا ما. ولولا أن البركان قد فجر قمته فى ١٦٢٦ ق.م. لكانوا قد عادوا ليجرفوا ما يغطى مدينتهم ويواصلوا تقدمهم الثقافى والتكنولوجى .

أسطورة أطلانطيس

اختفى معظم ما كُتب فى العصور القديمة : بعض السجلات المكتوبة راحت تحت تأثير قوى الانحلال الطبيعية، وبعضها الآخر راح بفعل الكوارث، كما أن جزءاً له اعتباره قد دُمر عن عمد (كما حدث عندما أحرق الغوغاء مكتبة الإسكندرية الضخمة فى عام ٤١٥ بعد الميلاد). ولم يبق الآن موجوداً سوى بقايا معدودة من المتون القديمة، والكثير منها لم يظل باقيًا إلا كترجمة. وبعض هذه البقايا تروى قصصًا عن كوارث ماضية تجبرنا على أن نلقى أسئلة ستظل الإجابات عنها منقوصة للأبد.

كتب الفيلسوف الإغريقى أفلاطون قرابة عام ٣٦٠ ق.م. ليصف جزيرة سماها "أطلانطيس" (١٥) وحسب التاريخ الشفاهى الذى سبقه بألف عام كانت هذه الحضارة الملاحية العظيمة تقع فى المحيط الأطلسى ما بعد جبل طارق. وقيل إن أطلانطيس قد اختفت تحت البحر فى جائحة، "خلال نهار وليل واحد من حظ بائس"، ولم تترك وراءها أدنى أثر. وقد قام كتاب قليلون جداً بدراسة إمكان أن تكون ثيرا هى المعادل لأطلانطيس(١٦)، وتم ذلك بدرجات متباينة من المصداقية طوال فترة دامت على الأقل للخمسين سنة الماضية. والصعوبة المزعجة هنا هى أنه يبدو أن أفلاطون قد حدد مكان أطلانطيس فى المحيط الأطلسى، وليس فى بحر إيجه. هل من الممكن أن تكون الجغرافيا قد اختلط أمرها إلى هذه الدرجة فى عصر كان العالم المعروف فيه صغيراً جداً هكذا؟ وعلى الرغم من أن هذه القضية ليست مما يسهل حله، إلا أن هناك قرائن كثيرة فيما يوجد من مشابهة فى أوصاف أطلانطيس حسب أفلاطون وحسب الكشوف الحديثة فى أكروتيرى، وهى قرائن تجعل المرء يتساءل.. وعلى الرغم من أن ثيرا لم تغرق كلها تحت البحر، إلا أن نصفها على الأقل قد اختفى بالفعل. ولعل هذا كان النصف الأكبر، ولعل صدمة اكتشاف اختفائه قد أدت بالملاحين القدماء إلى نسج الروايات التى أوحت فى النهاية بكتابات أفلاطون .

وعلى نحو بديل، يمكننا أن نأخذ حرفيًا بما ذكره أفلاطون، فنحدد مكان أطلانطيس القديمة بأنه فى المحيط الأطلسى بما يبعد عن ساحل لشبونة بمئات معدودة من الأميال. وهذا يؤدى إلى فكرة فيها إغواء، وهى أن نكبة لشبونة الهائلة فى عام ١٧٥٥

ربما كانت نتيجة لمدمات من قبر أطلانطيس المائى. على أنه حتى الآن، فإن هذا الحدس تناقضه الخرائط الجيوفيزيائية التى أجريت لقاع المحيط الأطلسى. وعلى الرغم من أنه يوجد حقًا أدلة على أن جبالاً بركانية قد غرقت هنا تحت البحر، إلا أنه يبدو أن هذا قد حدث ببطء شديد جداً، على مر ملايين كثيرة من السنين. فالجزر البركانية لا تخضع للمقاييس الزمنية البشرية، وعندما تختفى بالفعل هذه الجزر اختفاء مفاجئًا يكون سبب ذلك أن معظم كتلتها قد تفجرت فى الجو.

على أن هناك شيئًا يمكننا أن نستنتجه من روايات أفلاطون عن أطلانطيس: وهو أن تهديد الكوارث الطبيعية قد شغل عقول المفكرين منذ زمن بعيد جداً جداً.

انقراض الحضارة المينوية

هيا نعود إلى الصلة المحتملة بين انفجار العصر البرونزى فى ثيرا وإجماع الأثريين على أن الحضارة المينوية قد اختفت بأسرها خلال المائة والخمسين سنة التالية. كانت جزيرة كريت فى عام ١٦٥٠ ق.م. موطنًا لما يقرب من ٢٥٠٠٠٠ من المينويين، كان أربعون ألفًا منهم يعيشون فى العاصمة كنوسوس (التى يمكن اليوم زيارة أطلالها التى أعيد تركيبها جزئيًا). وكريت فى العصر البرونزى كانت أمة عظيمة من الملاحين الذين هيمنوا على تجارة البحر الأبيض المتوسط، ولعلهم قد غامروا بالرحيل بعيداً حتى إنجلترا. وكان المصريون المعاصرون يحترمون احتراماً كثيراً الثقافة المينوية فى زمن كان المصريون يعتبرون فيه أن الأمم الأجنبية الأخرى يسكنها البرابرة. ومن الواضح أن الحكايات الأسطورية الإغريقية عن ثيسيوس(*) ومينوتور(**) وإيكاروس(***)

(*) ثيسيوس : بطل أسطورى من أتيكا (أثينا) تضمنت مغامراته قتل عصابة لصوص خطيرة وذبح المينوتور ومحاربة الأمازونات أو النساء المحاربات (المترجم).

(**) المينوتور : مسخ ولدته باسيفى من الثور الكريتى ، وله رأس ثور وجسم إنسان ويسكن فى اللابيرنت (التيه) الكريتى ويعيش على اللحم البشرى ، وقد قتله ثيسيوس (المترجم).

(***) إيكاروس : شاب حاول هو ووالده الفرار من كريت بالطيران بأجنحة من الريش والشمع ، ونجح والده ، ولكن إيكاروس لم يتبع تحذيرات أبيه وطار عاليا فذابت أجنحته من حرارة الشمس ، وغرق فى البحر (المترجم) .

و ديدالوس (*) كان موضعها فى كريت المينوية (وإن كانت هذه الحكايات لم تسجل كتابة إلا بعد ذلك بقرون كثيرة).

وبعد ذلك، حدث فى غضون أجيال معدودة فحسب فى القرن السادس عشر ق.م.، أن حل مكان اللغة المينوية لغة مختلفة اختلافًا له مغزاه، وتغير الفن، وتهاوت المبانى العامة إلى أطلال، وانتهت التجارة البحرية وانتقل الميسينيون (**) من بر اليونان الكبير إلى كريت جالبين معهم ما يخصهم من عاداتهم وأساليبهم الفنية. إلا أنه لم يُعثر أبداً على أى دليل لأعمال عدائية. ويبدو أن الثقافة المينوية المزدهرة قد اختفت ببساطة، ليحل مكانها ثقافة ميسينية لم تكن بأى اعتبار أكثر تقدمًا عنها (بل هى فى بعض النواحى أقل تقدماً).

ينبغى أن نتذكر هنا أنه ليس من السهل أن تموت ثقافة بأسرها. واليهود قد حافظوا على ثقافتهم بفاعلية تامة خلال فترة ألفى سنة وهم بلا وطن. وظل البولنديون بلا وطن وقد قمعت لغتهم وثقافتهم طيلة مائة وخمسين عاماً قبل الحرب العالمية الأولى، إلا أنهم خرجوا من ذلك وهم مازالوا بولنديين مثلما كانوا دائمًا. وقد انهزم الملك هارولد الثانى مسلمًا إنجلترا لوليم الفاتح فى عام ١٠٦٦ بعد الميلاد، ولكن الغزاة أصبحوا إنجليزًا أكثر مما أصبح الإنجليز المهزومون نورمانًا. وحاليًا فإن الأمريكيين المحليين(***) يحافظون على معظم عناصر ثقافتهم الأصلية بعد قرون من الصراع مع الأوروبيين المتدفقين، والحقيقة أنه فى جيوب كثيرة من أمريكا اللاتينية مازالت ثقافة الأمريكيين المحليين باقية ومسيطرة.

وإذن، ماذا حدث للمينويين؟ من الواضح إلى حد كبير أنهم لم ينتهوا بالقتل فى إحدى الحروب. وإذا كان قد حدث وباء فليس لدينا أى سجل له. ومن الناحية الأخرى نحن نعرف "بالفعل" أنه قد حدث منذ أجيال معدودة سابقة جائحة انفجار فى ثيرا على

(*) ديدالوس : فنان أسطورى أنشأ اللابيرنت الكريتى وصنع أجنحة ليطير بها هو وابنة إيكاروس (المترجم).

(**) الميسينيون : نسبة إلى مدينة ميسينا ذات الحضارة القديمة بين عامى ١٩٥٠ - ١١٠٠ ق.م. (المترجم).

(***) الأمريكيون المحليون : يقصد بهم من يسمون الهنود الحمر (المترجم).

بعد ١١٠ كيلو مترات (٧٠ ميلاً) لا غير إلى الشمال. ونحن نعرف أيضًا أى دمار يمكن أن ينزله انفجار بركان على مستوى البحر بالشواطئ المجاورة.

ثار بركان كراكاتاو بجزر الهند الشرقية عام ١٨٨٣، وقتل بصورة مأساوية قرابة ٣٦٠٠٠ نسمة، فأتاح الفرصة للعلماء الفيكتوريين لإجراء دراسات عميقة للحدث. وعلى الرغم من أننا سنعود إلى كراكاتاو بشىء من التفصيل فى فصل لاحق، إلا أننى أذكره هنا لأن فهمنا لثورة كاركاتاو يساعدنا على إعادة بناء ما حدث بعد انفجار ثيرا فى العصر البرونزى. فهذان حدثان يتشابهان جداً: انفجار بركان بمستوى سطح البحر يقذف كتلاً هائلة من المادة إلى الجو، ثم يحدث انهيار فى جدران البركان، ويندفع البحر ليملأ الفراغ، ثم فى النهاية ترتفع موجة بحر هائلة يشار لها بأنها موجة "تسونامية".

تبلغ كمية الوحل والصخر التى نفثت فى الجو فى ثيرا ما يصل من ٤ إلى ١٠ أمثال ما فى كراكاتاو (وهذا أمر نعرفه من سبر أعماق البحر فى فوهة البركان فى الموقعين). ومن المؤكد أن الانفجار الأول قد قتل كل كائن حى ظل باقيًا فوق أى من الجزيرتين. وعندما تدفق البحر إلى الفوهة التى تشكلت مجدداً لبركان ثيرا أدى ذلك فيما يُحتمل إلى أن يطغى التيار والاضطراب على أى من سفن العصر البرونزى القريبة. وتبعد شواطئ كريت مسافة ١١٠ كيلو مترات إلى الجنوب، وبهذا فإن الدمدمات الأولى لا يمكن أن تسترعى انتباه أحد سوى القلة – ولعلها بدت بما لا يزيد عن رعد بعيد. على أن من المؤكد أن الجميع قد وثبوا عند سماع الانفجار النهائى لثيرا (نحن نعرف أن الانفجار النهائى لكراكاتاو كان مسموعًا لمسافة نحو ٣٠٠٠ كيلو متر "٢٠٠٠ ميل"). وبعد ذلك بحوالى ١٥ دقيقة (بناء على إعادة تركيب الحدث رياضيًا)، تراجع البحر تراجعًا مفاجئًا عن موانئ وشواطئ شمال كريت، كاشفًا قاع البحر حتى الأفق. ثم بعد ١٥ إلى ٢٠ دقيقة أخرى، عادت المياه منتقمة بسرعة تبلغ نحو ٣٠٠ كيلو متر فى الساعة (٢٠٠ ميل/ساعة) وبارتفاع يختلف تقديره بين ٣٠ إلى ٩٠ متراً (١٠٠ – ٣٠٠) قدم[١٧] . وقد طرح بعض العلماء أن هذه الأمواج ربما قد وصلت حتى ارتفاع يبلغ ٢٠٠ متر (٦٠٠ – ٧٠٠ قدم)! ولكن حتى لو افترضنا الأرقام الأقل، فلا شك أن سلسلة من هذه الأمواج الهائلة قد اندفعت داخل الأرض لعدة كيلو مترات على

الأقل، بما يكفى لابتلاع كل الإنشاءات التى لها أى علاقة بالتجارة البحرية. وبعدها، عندما أخذت هذه الأمواج الهائلة فى التراجع (ولنتذكر أن هذا يستغرق ١٥ إلى ٣٠ دقيقة لكل موجة)، فإنها اكتسحت بعيداً معظم الحطام. والحقيقة، أنه فى حفريات أثرية فى أمنيسوس، المدينة المرفأ التى كانت تخدم كنوسوس القديمة، عُثر على كتل حجرية ضخمة قد اقتلعت من أساساتها وانتشرت تجاه البحر، ويتوافق هذا مع ما يتوقعه المرء عندما تتراجع موجة تسونامية هائلة.

ولا شك أن ديناميات هذه التسوناميات المفعمة بالقوة موضع خلاف علمي. والمشكلة هي أن المعادلات الرياضية التى تم تحقيقها هى فحسب معادلات التسوناميات التى يصل ارتفاعها إلى عشرات معدودة من الأمتار، وبالتالى فإن هذه المعادلات ربما لا يمكن بعد تصديقها عندما تتنبأ بارتفاع موجات أعلى بأضعاف كثيرة مما رُصد قط. ومن الناحية الأخرى، فإن كل ما نحتاج إلى أن نتأكد منه هنا هو سلسلة من موجات من ٤٠ متراً (١٣٠ قدماً). وعندما ارتجف بركان ثيرا فى عام ١٩٥٦ (ولم يقذف مطلقًا أى شيء من تحت سطح البحر)، سُجلت تسوناميات يبلغ ارتفاعها ٣٦ متراً (١٢٠ قدماً) عند أمورجوس واستيباليا التى تبعد تقريباً مسافة ٨٠ كيلو متراً (٥٠ ميلاً) إلى الشمال الشرقي. وكما رأينا من قبل ونحن ننظر أمر كارثة لشبونة، فإن الموجات الأصغر من ذلك تكون كافية لتدمير الأرصفة والمستودعات ومؤسسات بناء السفن، وغير ذلك من المنشآت الساحلية التى تدعم التجارة البحرية. على أن الأخطر من ذلك هو البشر الذين ربما كسحتهم هذه الأمواج بعيداً فى عام ١٦٢٦ ق.م. من فوق شواطئ كريت التى تواجه الشمال. وعلى كل فمن من الأفراد يرجح أن يسكنوا قريباً من البحر أكثر ممن يستمدون عيشهم من البحر؟ فمن الطبيعى أن نجارى السفن وصناع الأشرعة وتجار البحر والبحارة والملاحين وصناع الخرائط والحدادين، من الطبيعى أنهم كلهم كانوا يقيمون فى المناطق الأكثر تعرضاً لخطر التسوناميات.

وهناك محاجات بأن ضياع أساطيل سفن بأكملها، بل وضياع كل الأرصفة، ينبغى ألا يؤثر تأثيراً خطيراً فى كل الحضارة المينوية فوق كريت. وعلى كل، ففى تلك الأيام كان من المتوقع أن يكون للسفن الخشبية حياة عاملة قصيرة، وسواء أكانت أم لم تكن هناك موجة تسونامية، فإن السفن كانت تُستبدل روتينياً كل عقد أو ما يقارب

ذلك. وإجابتى الشخصية عن ذلك هى أن السفن والبنية الفيزيقية التحتية لن يكون ضياعها أسوأ ما فى الأمر. ففى تلك الأوقات كانت الحرف والتكنولوجيات البحرية تمرر من خلال التدريب الحرفى وليس من خلال كتب تنشر، وبهذا فإن فقدان المعرفة المجموعية سيكون فيه ضربة مدمرة هى ببساطة ضربة لا يمكن لكريت المينوية أن تتعافى منها. فلن يكون هناك سبيل لبناء أساطيل جديدة لأن كل من يعرف طريقة صنع ذلك سيكون قد غرق فى الموجة التسونامية. نعم، سنجد أن السفن التى نجت من الموجات الهائلة (بفضل وجودها وقتها فى المياه الأعمق) ستستمر بالتأكيد فى أن تذرع البحار جيئة وذهاباً طيلة العقود المعدودة التالية قبل أن ينالها العطب. على أنه عندما تنتهى حياتها المفيدة، لن يكون هناك سبيل لأن يحل محلها سفن جديدة لها قيمة بحرية تقارن بها. فضياع المعرفة يكون دائماً مدمراً للثقافة أكثر من ضياع الكيانات الفيزيقية.

وبالتالى، يبدو من غير المحتمل أن تكون التجارة البحرية المينوية قد انتهت فجأة بموجة تسونامية هائلة فى عام ١٦٢٦ ق.م. والأولى أن تأثير هذه الكارثة سيكون انحداراً تدريجياً يمتد عبر عقود عديدة. وفى النهاية فإن الأساطيل المينوية قد تدهورت كيفاً وكماً إلى مستوى جعلها لا يمكنها بعد أن تخيف الميسينيين، وهكذا فإن إغريقيى البر الرئيسى هؤلاء تمكنوا فى النهاية من الإبرار فوق شواطئ كريت .

وفى الأحوال الطبيعية سيتوقع المرء أن إبرار هؤلاء الناس الأغراب سيؤدى إلى حرب. إلا أنه يبدو فى هذه الحالة أنه قد حدث ما هو أكثر. ومرة أخرى يمكننا أن نجد تفسيراً من ثورة بركان ثيرا فى عام ١٦٢٦ ق.م.

كانت أكروتيرى مدفونة أصلاً تحت ٢٠ متراً (٦٥ قدماً) من الرماد البركانى. ومن الواضح أن سقط الرماد هذا لم يكن ينتهى عند هذا الحد الخارجى للجزيرة. وبعض هذا الرماد كان يُنفث إلى الجزء الأعلى من الغلاف الجوى (استراتوسفير)، حيث يؤثر فى مناخ الكرة الأرضية وينتج عنه ثلج حمضى تتيح لنا آثاره فى المثلجات(*) أن نحدد تاريخ الحدث (انظر جدول ١، ١). ومكونات هذا الرماد الأكثر ثقلاً تسقط إلى البحر والأرض. وهذه أيضاً أخذت عينات منها، بما يسمح للعلماء بإعادة بناء الحقيقة بأن

(*) المثلجة . تجمُّع جليدى عظيم غير ثابت قد يتحرك فى مجارٍ كالأنهار (المترجم) .

معظم كريت ومعها أجزاء من تركيا كانت مغطاة بسقط الرماد من ثيرا. وتوقف التمثيل الضوئي في ورقة نبات لا يتطلب إلا قدراً صغيراً جداً من الرماد (يكفي ملليمتر واحد لذلك). أما السنتيمترات المعدودة من الرماد فسوف تقتل الحياة النباتية على الأرض. وما يزيد عن ذلك قليلاً فحسب سيسمم التربة لسنوات، حتى يُمتص الحامض بعيداً،، وعندما يصل سقط الرماد إلى عشرات معدودة من السنتيمترات (أقل من قدم واحد) فإن هذا يجعل من المستحيل تنمية أي محاصيل غذائية لعقود عديدة. وإذا انتظرنا لقرن أو قرنين، ووفُرنا ما يكفي من مياه، فإن التربة البركانية ستكون أفضل صديق للفلاح. ولكننا لا نشتري مزرعة تعرضت لسقط رماد بركاني حديثًا ثم نتوقع لها أن تكون مربحة أثناء حياتنا.

ومن المسلَّم به أن الزراعة ضرورة. وكريت كانت تعول بالفعل عدداً من السكان يبلغ نحو ربع مليون فرد عندما وصل اللاجئون من ثيرا حوالي ١٦٢٨ ق.م. وبعدها بعام أو عامين، حل في نفس الوقت الدمار بكل من القاعدة الزراعية والبنية التحتية للتجارة البحرية. ولعلنا لن نعرف أبداً أيًا من تفاصيل السنوات الكئيبة التي تلت، وكل ما نعرفه على وجه التأكيد هو أن الثقافة المينوية قد اختفت وحل مكانها الثقافة الميسينية. على أن هناك أدلة قوية إلى حد كبير على أن انهيار هذه الثقافة المزدهرة بأسرها قد نتج عن حدث جيوفيزيائي واحد: الثورة المتفجرة لبركان بعيد عن الشاطئ.

هل يمكن أن يقع ثانية حدث كهذا؟ إن الإجابة المحزنة هي نعم. وليس هذا ممكنًا فحسب بل إن من المحتمل أنه سيحدث.

عن مدى العمر والكوارث

قشرة كوكبنا الأرضي هي فحسب تلك الطبقة الرفيعة من المادة الصلبة التي تطفو فوق الكيان الداخلي اللزج للكوكب.

ويحدث باستمرار أن ترتفع رقع من القشرة وتنجرف كاستجابة للقوى السائلة تحت الأرضية، وليس من مكان فوق الكرة الأرضية يكون فيه السطح الصلب

مستقراً حقًا. وحسب المقـاييس الكوكـبية، فإن البحار تُعـد بِركًا تنزع إلى التناثر عند تزحزح القشرة. والأرض عندما تدور حول محورها، ويندفع خطـها الاستوائى شـرقًا بسـرعة تـزيد عن ١٦٠٠ كيـلو مترا فى الـساعة، فإن الطـبقات الجوية تدور فى دوامـات وتيـارات دائرية هـائلة، بما يعـيـد تـوزيـع الرطـوبة من خـلال التـبخـر والتكثف، وأحيانًا يكون الدوران فى دوامات بسرعة أكبر كثيراً مما ينبغى بالنسبة للإنشاءات التى نبنيها لحمـاية أنشطتنا البشرية. وفى الوقت نفسه فإن الأرض تعج بالحياة، حياة ميكروسكوبية فى معظمها وبعضها له شهيته فى إفناء الأجهزة الحية بالجسد البشرى .

وأحيانًا يجد أحد هذه الأنواع الميكروبية طريقة لها كفاءتها بالذات فى الانتقال من شخص لآخر فتتفجر أعدادها متزايدة، بما يؤدى للإضرار بقطاعات كبيرة من البشر. وإذا كان هذا ليس فيه ما يكفى لإزعاجنا، فسنجد أن مدار الأرض من خلال الفضاء يتقاطع مع مدارات آلاف من الكويكبات، الكثير منها كبير بما يكفى لأن ينزل دماراً له قدره لو أنها ارتطمت بكوكبنا (الأمر الذى يطرح السجل الجيولوجى أنه قد حدث فى مناسبات عديدة فى الماضى) .

إلا أن الجنس البشرى ظل حيًا وازدهر فى وجه كل هـذه التهديدات. ونفس وجود الإنسـان الحـديث رجـالاً ونسـاء يمكن إرجـا ع فـضله إلى مـا يوجـد من تفـاوت بين مقياسين طبيعيين للزمن: أحدهمـا هو متوسط طول الفترة بين الكوارث الكبرى، والآخر هو مدى طول حياة الجيل البشرى. وعلى مستوى مقياس الزمن الفلكى فإننا ننتج ذريتنا فى غمضة عين بعد ولادتنا. وبعدها، وقد تَهرأنا بيولوجيًا، فإننا نموت ونعيد مكوناتنا الكيميائية إلى البيئة لتعاود الدوران فى أشكال مختلفة كثيراً ما تكون أكثر تعقداً. وعلى الرغم من أن اصطدامات الشـهب الكبيرة قد ينتج عنها انقراض جماعى عارض - قتل نوع بأكمله - فإن هذه الأحداث لا تقع إلا بفترات فاصلة يبلغ متوسطها ملايين كثيرة من السنين. بل إن التطور الذى يظل يعمل فى بطء كان لديه من الوقت ما يكفى لخلق معجزات بيولوجية فى الدهور التى مرت منذ آخر اصطدام رئيسى بكويكب .

أما بالنسبة للزلازل والبراكين فإن الفترات الفاصلة بين الأحداث تكون أقصر بما له قدره. ومع ذلك، فإن المناطق النشطة زلزاليًا نادرًا ما تتعرض لأكثر من زلزال كبير واحد في مدى حياة الإنسان، وكثيرًا ما ترقد البراكين خامدة لقرون عديدة بين ثوراتها الكبرى. وفي معظم المناطق، يكون من غير المعتاد أن تحدث عواصف أو فيضانات مهددة للحياة يكون معدل تكرارها (في المتوسط) أكثر من مرة لكل جيل بشري. ومن الناحية التاريخية، فإن الأوبئة الجماعية تحدث على فترات زمنية بمعدل يقرب من مرة كل جيلين أو ثلاثة أجيال .

ووجود النوع البشري الآن هو شهادة للاحتمالات الإحصائية التي تنعكس في هذين المقياسين النسبيين للزمان: فاحتمال النمو إلى البلوغ والتكاثر والهجرة ينبغي أن يفوق احتمال الموت قبل الأوان، إذا كان لنوعنا أن يبقى حيًا. ولو كان البشر يعيشون لألف عام ويصلون إلى البلوغ في سن ٣٠٠، فإن ما سيوجد من توافق أوثق بين دورة حياتنا وتكرار جائحات الطبيعة سيؤكد موت نوعنا تطوريًا قبل بدء استخدامنا للأدوات بزمن طويل. ولا شك أن هذا هو السبب في أن الأشكال الأصغر للحياة يكون لها دورات تكاثرية أقصر، فالنملة مثلاً، تتعرض باحتمال كبير لأن تُسحق أو لأن يجرفها مجرى ضئيل من المياه لو عاشت زمنًا طويلاً جدًا. وإذا تأخر أحد الكائنات الحية في تكاثره لأكثر مما يلزم بالنسبة للتهديدات التي يواجهها في الحفاظ على حياته، فإن الطبيعة ستتوفاه قبل أن يمرر جيناته. فمدى حياتنا يضاهي أحسن مضاهاة متوسط الفترات الفاصلة بين الثورات الكبرى للطبيعة. والأرجح بالنسبة لمعظمنا أن نموت لأسباب أخرى في زمن يسبق كثيرًا الزمن الذي ستضطرب فيه عظامنا بسبب كارثة طبيعية. وعلى كل، دعنا نلاحظ أنني أتحدث هنا من حيث الاحتمالات. أما مع توفر الزمن الكافي، والمساحة الجغرافية الكافية، وعدد الأفراد الكافي، فإن الأحداث الفردية غير المحتملة يتزايد احتمال وقوعها، وبالنسبة للعالم ككل، فإن لنا أن نضمن أننا سنسمع عن كوارث طبيعية معدودة تسبب دمارًا هائلاً وتنال ضحاياها من البشر "في خلال عام واحد". واحتمال أننا كأفراد سنحسب من بين الضحايا هو احتمال صغير، أما احتمال أن يكون هناك ضحايا آخرون عديدون من البشر فهو احتمال من ١٠٠٪ .

ونحن كبشر نهتم بما يزيد عن أن يكون مجرد إحصائيات. فنحن نهتم بالأفراد. ونحن نهتم أكثر بأحبائنا. من منا لم يشهد منظر كارثة ما مسجلاً فى برنامج الأخبار ليتساءل بعدها عن مدى فاعليتنا شخصيًا لو تعاملنا مع محنة كهذه؟ من منا لم تروّعه أوصاف العنف الذى ينطلق من الفيضانات القاتلة والعواصف القمعية والأعاصير والزلازل والبراكين والهُيارات وما أشبه، ثم يتساءل عن الأفراد من الضحايا؟ ومن منا لم تشده القصص المثيرة لانتباه البشر عن أولئك الذين أمكنهم النجاة أحياء من كوارث عظيمة بينما هلك مَن كانوا من حولهم؟ ونحن نعرف، على الأقل بما تحت الوعى، أن لا أحد منا له حصانة ضد تهديدات الطبيعة إذ يُطلَق لها العنان، ولكننا نحس بالراحة من فكرة إمكان وجود الأمل حتى فى أسوأ الأحوال. فتفضيل الحياة على الموت جزء من طبيعتنا البشرية .

حتى أُبقى على هذا الكتاب داخل مجال يمكن معالجته، حاولت الحفاظ على وجود تمييز بين الكوارث الطبيعية والكوارث الاجتماعية السياسية أو غيرها من الكوارث التى تكون من صنع الإنسان. ومن الواضح أن هناك مناطق لتداخلهما معًا. فالحروب عادة ينتج عنها ضحايا بسبب المرض والحرمان أكثر مما يكون بسبب الرصاص، ونابليون ، كما يزعم بعض الكتاب ، قد فقد من الجنود بسبب الحصبة عدداً يماثل مَن فقدهم لأى سبب واحد آخر. على أن تمييزى بين النوعين تمييز صادق فى معظم الحالات، من حيث إنه يعين فئة للأحداث يكون لتفسيراتها بعض فرصة لأن تخضع لمناهج البحث العلمى الإمبريقية. ولهذا الغرض فإنى سأستخدم التعريف التالى :

"الكارثة الطبيعية" حدث تؤدى فيه قوى الطبيعة إلى إنهاء حياة البشر أو تدمير ثمار الجهد الإنسانى على نطاق كبير.

وسنجد مثلاً، أنه على الرغم من أن من المعروف أن الجسور تتهاوى عندما تتلف دعاماتها بالتيارات العنيفة، إلا أن مقياس حدث كهذا لا يؤهله لأن يكون "كارثة" (وإن كان أساتذة الهندسة سيدرسون بلا شك كل حطام كهذا لزمن أطول كثيراً من مدى اهتمام معظم الجماهير). ومن الجانب الآخر، إذا كان الجسر المنهار واحداً من انهيارات إنشائية كثيرة تصاحب عاصفة كبرى، فإن العاصفة هى التى تعد كارثة،

ويعد انهيار الجسر تفصيلاً واحداً من تفاصيل كثيرة يحق لنا أن ندمجها فى الصورة العامة لتأثيرات العاصفة فى البنية التحتية للمنطقة المصابة .

ومقياس الحدث له علاقة أيضًا بعامل أكثر برجماتية: فالأحداث ذات المقياس الكبير تجذب انتباهًا واسعًا، وهذا بدوره يجذب الأموال لتمويل البحث العلمي. وكنتيجة لذلك فإننا ننحو لأن "نتعلم" عن الأعاصير القاتلة أكثر مما نتعلمه عن صاعقة البرق التي قتلت ابن العم تشارلي في ملعب الجولف المحلي. وعلى الرغم من أن وفاة ابن العم تشارلي حدث يعد مأساة لأحبائه، إلا أن مقياس حدث كهذا يبتعد كثيراً عن أن يجتذب جهود حشد من الباحثين العلميين .

على أنه، أيًا كان القياس، تظل الصلات الإنسانية أمرًا أساسيًا. فقلما يكون أداء العلم كبحث عن الحقيقة الموضوعية مستقلاً عن الاهتمامات البشرية. فالعلم نشاط بشرى يدعمه المجتمع من خلال مؤسساته، مع توقع أن المعرفة الجديدة التى سوف تتولد ستؤدى فى المتوسط إلى نتائج إيجابية اجتماعية واقتصادية. ونحن نتوق إلى أن نعرف أكبر قدر عما يؤثر فينا أكبر تأثير. وبالتالى فمن بين كل عالم الأسئلة الممكنة، نحن نحدد بالفعل خطوط البحث التى سنكافئ علمائنا على اتباعها. ولو كانت الزلازل تحدث فحسب فى قارة القطب الجنوبي، لكان البحث عن التنبؤ بالزلازل أقل بما له قدره .

والكوارث الطبيعية كميدان للبحث العلمي تمثل تحديات ضخمة لمن يدرسونها. وحيث إنى كرست معظم هذا الكتاب للمناقشات عن هذه التحديات المختلفة، فسوف أنكز هنا تحديًا واحدًا منها هو: عدم القابلية للتكرار. عندما نجرى بحثًا عن خصائص مُركّب كيماوى عضوى جديد، يمكننا بسهولة أن نراجع أنفسنا بأن نكرر اختباراتنا المعملية. والحقيقة أنه لو كان الواحد منا عالمًا جيداً، فإنه يكرر الاختبارات مرات كثيرة بعينات كثيرة. ومن الناحية الأخرى، فإن ظاهرة مثل ثورة بركان لا تعطينا سوى لقطة واحدة. ولن نستطيع إعادة خلق البركان فى المعمل. وأبعد من ذلك أن نستطيع اختباره اختباراً متكرراً. وللحصول على بيانات إضافية، سنحتاج لانتظار ثورة بركانية جديدة، من المؤكد أنها ستختلف عن الأولى اختلافًا أساسيًا، وسنحتاج إلى أن نكون

محظوظين بالدرجة الكافية لأن تكون أجهزتنا فى المكان المناسب عند الوقت المناسب. فالمعرفة فى ميدان كهذا ليست مما يُحتمل لها أن تتقدم فى السباق بسرعة تكسر الأعناق .

والعلم كله يرتكز إلى حد كبير على أسس تاريخية أكثر مما قد يتبينه معظم الجمهور. وما من طالب علم يتُوقع منه أن يكرر تجارب باستير فى إنشاء الطعم الواقى لداء الكلب ، أو أن يكرر تجارب فيزو لقياس سرعة الضوء فى السوائل المتحركة. فالعلماء يقرون بهذه النتائج بناء على وزن توثيقها التاريخى - موافقين على حقيقة أن التجارب قد أُجريت فعلاً فى الماضى، وأنها قد أثمرت النتائج المسجلة، وأن مناهج ذلك قد تم بالفعل مراجعتها وتحليلها نقديًا. وما من طالب علم لديه الوقت لإعادة بناء كل المعرفة العلمية الحالية من خلال إجراء التجارب بيده هو نفسه. وبدلاً من ذلك فإن الطلبة تُخصص لهم كتب مراجع تعكس الإجماع بين الرواد المثقفين لهذا العلم، والذين تكون أحكامهم المحنكة بدورها مؤسسة على خبرات ووثائق تاريخية. فما يتعلمه طلبة العلم هو فى أغلبه تاريخ .

وأنا أذكر هذا لأمحو أى فكرة من أن الاعتماد على المصادر التاريخية قد يكون بمعنى ما أمرًا "غير علمى". والتنقيب فى المصادر التاريخية لاكتساب الفهم للكوارث الطبيعية أمر يتفق تمامًا مع الممارسة المقننة للعلوم. وبالطبع، فإن من الحقيقى أيضًا أننا عندما ندرس الكوارث الطبيعية لا يكون لدينا الكثير من أى خيار آخر. فالكوارث الكبرى تحدث بفترات فاصلة طويلة الزمن، وبالتالى فإن المصادر التاريخية هى طريقنا الوحيد لربط الأحداث المفردة إلى "فئة" من الظواهر. وتوصيف حدث واحد ليس بعلم. والأحداث الوحيدة لا تكون لها علاقة بالعلم إلا بقدر ما تعطى لنا مفاتيح لفهم أنماط أكبر فى الطبيعة .

وإذن، فإن التحدى الموجود فى علم الكوارث هو أن نعين الأنماط فى فئات من الأحداث ليست فحسب مبعثرة جغرافيًا، بل إن خطوط الزمن فيها تتجاوز مدى حياة الراصد الفرد. ووجه السخرية هنا هو أن نوعنا ما كان لينبثق ويبقى حيًا فوق هذا الكوكب المضطرب ويسأل حاليًا هذه الأسئلة لولا أن الانتخاب الطبيعى قد وهبنا

متوسط عمر يُعد مداه قصيراً بالنسبة للاضطرابات الكبرى فى الطبيعة. على أننا إذ نعيش سنوات جد قليلة هكذا فإن هذا قد نتج عنه أنه لا يمكن لعالم وحيد أن ينفذ فى حياته مشاهدات يجريها بنفسه بالقدر الكافى لإنشاء أى مما يقارب من أن يكون علماً تنبؤياً للكوارث الطبيعية. ولا يمكن أن يتقدم فهمنا العلمى إلا من خلال التراث الثقافى للبشر الآخرين، الذين ماتوا من زمن طويل، وإلا من خلال ما أسهم به فى العلوم البينية آلاف من العلماء الأحياء الذين كان لديهم كأفراد الوقت الكافى لأن يتعلموا فحسب شيئاً جديداً قليلاً جداً أثناء إقامتهم القصيرة فوق هذا الكوكب المضطرب. وأنا فى الفصول التالية سوف أشترك مع القارئ فى إلقاء نظرة عامة على فهمنا الحالى للكوارث الطبيعية ، وهو فهم يعكس جهوداً ثقافية مشتركة بعلوم بينية، وسوف أوضح بعض القليل من مشاكل الكوارث الطبيعية ومسائلها التى تداوم حالياً على ملازمتنا.

الهوامش

(١) هذا تقدير بواسطة ج.ج. موريرا دى ميند ونكا كما ورد فى كتابه،

"Historica Universal dos Teremotos...com uma narracam individual do Terremoto do primeiro de Novembro de 1755..em Lisboa" (Lisbon, 1758).

على أن هذا المؤلف قد يكون لديه من الأسباب ما يجعله يبخس من تقدير المصابين ليهدئ من الهواجس المحتملة لحكام المستعمرات البرتغالية البعيدة.

(٢) Jose de Oliveira Trovao e Sousa, *Carta em que hum amigo da noticia a outro do lamentavel successo de Lisboa* (Coimbra, Dec. 20, 1755), pamphlet.

وهناك أخطاء أخرى فى هذا الإصدار تثير تساؤلات عن مصداقية تقديره للمصابين بعدد من ٧٠٠٠٠ ، والفكرة الرئيسية عند هذا المؤلف هى أن لشبونة قد عوقبت لشرورها، وهو ربما قد بالغ فى تقدير قائمة الموتى حتى يُدعم هذه الحجة.

(٣) كتاب فولتير الساخر "كانديد" نشر لأول مرة فى عام ١٧٥٩ ، وكانديد قد جُرف إلى الشاطئ بعد تحطم سفينته، وكان ذلك فى الوقت المناسب تماماً ليشهد دمار لشبونة، ثم قُبض عليه وجُلد بواسطة ضباط محكمة التفتيش، الذين يبحثون عن كبش فداء يفسر السبب فى أن الله قد اختار أن يُعاقب المدينة. أما الفيلسوف معلم كانديد ورفيق سفره فقد شُنق لهرطقته؛ إذ طرح أن الحدث كان لسبب طبيعى وليس لسبب فوق الطبيعى. وكان ضباط محكمة التفتيش، وقد تضاءلت محكمتهم إلى أنقاض، يتوقعون أن مثل هذه التصرفات الحاسمة ستمنع الزلازل فى المستقبل .

(٤) معظم ما سيلى ذكره هنا قد تأسس على المرجع التالى:

T.D Kendrick, The Lisbon earthquake (Philadelphia: Lippincott, 1956),

ويبقى هذا الكتاب أفضل مرجع شامل باللغة الإنجليزية بشأن كارثة عام ١٧٥٥ .

(٥) يعطى كندريك فى كتابه "زلزال لشبونة" تقديراً من ١٥ إلى ٢٠ قدماً، بينما يظهر رقم ٥٠ قدماً فى المرجع التالى:

C. Morris, The destruction of St. Pierre and St. Vincent and the World's greatest disasters..(Philadelphia: American Book and Bible House, 1902).

والمؤلف الأخير ربما كان ينزع للمبالغة، لأنه أيضاً يكرر قصة كتبها المهندسون البونتفاليوم سريعاً بعد الكارثة، وهى أن رصيفاً قد ابتلعه شق وأخذ معه عدداً من السفن الراسية وحشداً عظيماً من البشر تحت الأمواج بدون أن يعود أى شىء ليطفو على السطح ولا حتى شظية خشب أو خرقة قماش. وتواصل الرواية القول بأن القياسات التى أخذت فيما يلى كشفت عن أن العمق فى هذه البقعة يكاد يصل إلى ١٠٠ قامة (١٨٠ م) أو (٦٠٠ قدم). ولا يبدو أن هناك أى تسجيل لقياس كهذا تم إجراؤه فى ذلك الوقت. والكوارث كثيراً ما ينتج عنها مثل هذه "البيانات" التى بلا دليل

(٦) T.S. Murty, Seismic sea waves; Tsunamis, Fisheries and Marine Service, bulletin no. 198 (Ottawa, Can.: Fisheries and Marine Service, 1977).

(٧) Morris, Destruction, 408.

(٨) H.F.Reid, The Lisbon earthquake of November 1, 1755, Bulletin of the Seismological Society of America, 4 (2) (June 1914), 53 - 80.

(٩) هذا الزعم يمكن العثور عليه في مراجع كثيرة عن مصدر ثان، ولكن لا يوجد أي مؤلف واحد يعين المصدر الأول (إذا فرضنا أنه يوجد)، كما أن أحداً لا يعطي اسم المدينة المغربية أو موقعها المضبوط. ولعل هذه القصة تتحدث عن الطبيعة البشرية أكثر مما تتحدث عن الظواهر الجيوفيزيائية.

(١٠) هناك إصدارات عديدة تذكر خطأ أن تاريخ كارثة لشبونة هو أول نوفمبر عام ١٧٧٥ بدلاً من أول نوفمبر عام ١٧٥٥

(١١) M.K. Hughes, Ice layer dating of eruption at Santorini (Thera), Nature, 335 (1988), 211-12; C.U. Hammer, H.B. Clausen & W. F. Friedrich, The Minoan eruption of Santorini in Greece dated to1645 B.C., Nature, 328 (1987), 517 - 19.

(١٢) S. Marinatos, On the chronological sequence of Thera's catastrophes, Acta (1971), 403-6; Marinatos, Thera: key to the riddle of Minos, National Geographic, June 1972, 702 - 6.

(١٣) الكثير من لوحات الفريسكو المرممة معروضة في متحف الآثار القومي في أثينا.

(١٤) يبدو أن هناك مدينة أخرى تحت حفريات أكروتيري، قد دفنت أيضاً تحت سقط رماد بركاني، ولكن هذا في زمن أقدم بألفي عام.

(١٥) يعطي أفلاطون رواية قصيرة عن أطلانطيس في كتابه "تيماوس" ورواية أطول في كتابة "كريتياس"

(١٦) هناك بالذات حجج مقنعة قد بُحثت جيداً أو مطروحة في مرجع:

J.V. Luce in The End of Atlantis (Athens: Efstathiadis & Sons, 1982).

(١٧) لا يوجد بالطبع روايات من شاهدي عيان تخبرنا عن ارتفاعات هذه الأمواج. والتقديرات التي استشهدنا بها تأسست على نماذج رياضية يُعتبر فيها مقدار الطاقة الجيوفيزيائية التي انطلقت، وما يرجع من درجة ازدواج لهذه الطاقة في مياه البحر، وملامح قاع البحر، والمعادلات التي يُعرف أنها تصف ديناميات أمواج البحر. وهناك مصادر كثيرة لأن يوجد عدم يقين في هذه الحسابات. ولمعرفة ملخص لهذه النظرية الرياضية انظر كتاب مورتي "موجات البحر الزلزالية".

الفصل الثانى

" تطور العلم "

نيوتن والكون الساعة

فى سنة ١٦٦٦ تفشى وباء طاعون دبلى(*) أصاب كمبردج بإنجلترا، وبكل حكمة أغلق مديرو جامعة المدينة أبوابها لمدة عام. وعاد الشاب إسحاق نيوتن (١٦٤٢ - ١٧٢٧) إلى داره فى مزرعة أسرته، وجلس تحت شجرة، وأخذ يحدق فى القمر. وربما حدث أن تفاحة سقطت من الشجرة، وربما لم يحدث شىء من ذلك. وليس هذا مهمًا، فمنذ عهود ما قبل التاريخ لم يكن من الأسرار أن الأشياء تسقط سواء كانت ثمار تفاح تسقط من شجرة، أو سهامًا تسقط بعد انطلاقها، أو ثور بيسون يتعثر من فوق جرف. إلا أن ذهن نيوتن لم يكن مشغولاً بالتفاح أو السهام أو ثور البيسون، فقد كان يفكر فى القمر الذى يحوم فوق رأسه. لماذا لا يقع القمر من السماء، مثلما يقع كل شىء آخر؟ أمن الممكن أنه ربما يسقط "بالفعل"، وأنه فحسب لا يزيد اقترابًا بسبب الطبيعة الخاصة لحركته أثناء وقوعه؟ هم م م.....

إن ما حدث بعد ذلك قصة طويلة جدًا تكررت روايتها وزخُرفت بأشكال كثيرة، بما وفَّر مادة لمئات من مختلف الكتب عبر القرون الثلاثة الأخيرة. وباختصار، فقد نجح الشاب نيوتن فى صياغة نظرية لا تقل عن أن تكون نظرية لميكانيكا الكون كله. وقوانين

(*) الطاعون الدبلى: حمى الطاعون تكون أساسًا من نوعين أحدهما تصيب الجراثيم فيه الغدد الليمفاوية فى الإرب أعلى الفخذ أو تحت الإبط فتلتهب هذه الغدد متضخمة فى عقد أو دبل، والنوع الثانى يصيب الجهاز التنفسي ويؤدى إلى التهاب رئوى مميت. (المترجم) .

نيوتن تشمل القوانين التى صاغها جوهانز كبلر من قبل للحالات الخاصة للكواكب، وقوانين جاليليو للحركة المعجلة، ولكنها أيضاً تذهب لأبعد من ذلك كثيراً، فتتنبأ بحالات المد والجزر، وبمدارات الأقمار والكواكب، وحركة طواحين الهواء، والقوى التى تنشأ فى الأجزاء الفردية من البنى المعقدة. وهذه التنبؤات تتم رقميًا ويمكن اختبارها بواسطة القياس. ومعادلات نيوتن صالحة جداً للعمل بها حتى إننا نستخدمها الآن روتينيًا فى سبل لم يحلم بها نيوتن قط: فى تصميم الحركة الذاتية، وفى ملاحة مجسات الفضاء، وفى المساعدة على تحليل الظواهر الجيوفيزيائية، والظواهر المتريولوجية.

المحور الأساسى لقصة نجاح نيوتن هو ما أدركه بنفاذ بصيرته مما يمكن إعادة صياغته كالتالى :

قوانين الطبيعية تتماثل فى كل زمان وكل مكان فى العالم ، وفى الكون ككل. وتفاصيل الأحداث الخاصة تختلف، ولكن المبادئ الكامنة فى الأساس تكون دائمًا هى نفسها.

وبالطبع فإن هذا أمر لا يمكن إثباته، وما من أحد قد حدث قط أن طرح سببًا معقولاً ليفسر "لماذا" يجب أن يتصرف الكون بهذا الأسلوب الثابت. ولعل الأمر أن الكون بالفعل ثابت فحسب لفترات قصيرة نسبيًا، لنقل مثلاً إنها من ملايين أو بلايين السنين (وهذه الفترات طويلة بالنسبة للإنسان، ولكنها قصيرة بالنسبة للكون) إلا أن هذا الافتراض بثبات الكون يقع فيه الأساس لكل البحث العلمى الحديث. ونحن نستطيع أن نؤدى الأبحاث العلمية فى المعمل، ونحن نتوقع كل التوقع أن نتائجنا ستنطبق على العالم فى خارج المعمل. كما يمكننا أن نعكس العملية وبنفس التوقعات. وبالمثل يمكننا أن نجرى تجربة الآن ونتوقع أن نتائجنا ستكرر نتائج تجربة مماثلة منذ قرن مضى. أو أننا يمكننا أن نقرأ سرداً علميًا منذ قرن مضى ونتصور أن المبادئ الطبيعية التى كانت تحكم الظاهرة فى الماضى وقتها هى نفس المبادئ التى تعمل الآن. ولا يمكن للمرء أن يكون من العلماء بدون الإيمان بأن قوانين الطبيعة كلية. نعم، يحدث أن الأحداث الفردية تختلف بالفعل من زمن لآخر ومن مكان لآخر (وإلا فسيكون العالم مملاً جداً)، ولكن "المبادئ" التى تحكم التغير هى، فى رأى نيوتن، مطلقة وكلية.

على أساس هذه المقدمة من مبدأ الكلية أنشأ نيوتن بناء رياضيًا رائعًا ما زال حتى بعد ثلاثمائة سنة يمثل تحديًا كبيرًا للقراء المحدثين، وخاصة طلبة الكليات. ويمكن العثور على التفاصيل في كتب عديدة[1] بما في ذلك كتب نيوتن[2] ويمكننا في خطوط عريضة جداً أن نلخص أهم إسهامات نيوتن العلمية كالتالي:

الكثير من ملايين الأحداث التي تقع يوميًا يمكن التنبؤ بها على نحو مضبوط رياضيًا .

عندما تتفاعل معًا منظومتان يمكن رصدهما، فإن التفاعل يجري دائمًا في الاتجاهين، ولا تستطيع منظومة أن تؤثر في الأخرى بدون أن تمارس المنظومة الثانية تأثيراً بالمقابل على الأولى يمكن رصده والتنبؤ به.

ونتج عن ذلك ثورة نيوتونية أثمرت مكاسب مثيرة للإعجاب في فهمنا للطبيعة. وحدثت أوجه تقدم سريع في دراسة السوائل والكيمياء والحرارة، وحدث مؤخراً باتباع التقاليد نفسها تقدم في بيولوجيا الكائنات الدقيقة وفي الكهرباء. وكانت الدلالة الواضحة لذلك أن الكون مكان منظم تنظيمًا فائقًا، وأن التشوش هو فقط حالة ذهنية بشرية. والبشر إذا بذلوا ما يكفي من الاجتهاد والصبر يمكنهم في النهاية أن يدفعوا أمنا الطبيعة إلى البوح بكل أسرارها، وعندما نعرف في النهاية كل هذه الخطة العظمى للأمور، سيكون كل ما سيحدث فيما بعد قابلاً للتنبؤ به. ويُمثَّل الكون بساعة عملاقة متكاملة، تتشابك تروسها وتتأرجح بندولاتها في توافق زمني مضبوط منتظم. وهذا المنظور النيوتوني كان واعداً بأن المجتمعات المتعلمة سوف تتحرر سريعًا من التأثيرات المتقلبة التي تحدث عند اتجاه قوى الطبيعة اتجاهًا منحرفًا.

ثم حدث في ذلك الصباح الكارثي من نوفمبر بعد أقل من ثلاثين عامًا من موت نيوتن، أن اهتزت مدينة لشبونة الكبرى فجأة لتصبح أنقاضًا، وتجرف الموجات التسونامية أجزاء منها ثم تخربها النيران: وهذا حدث يتعارض تمامًا مع أي شيء آخر وقع خلال ذاكرة الأحياء، جائحة قفزت من لا مكان، ومنفصمة تمامًا عن أي نمط مما سبق رصده في الطبيعة.

وهذه الكارثة المروعة لا يمكن تفسيرها بأى من نظريات أو قوانين العلم الحديث، دع عنك إمكان التنبؤ بها من هذه النظريات والقوانين. لقد هلك ما يقرب من أربعين ألف إنسان، في حين أنهم لو أمكنهم معرفة المستقبل قبلها حتي بساعة لربما ظلوا على قيد الحياة. ولو أنهم أمكنهم معرفة المستقبل قبلها حتي بيوم واحد لربما أمكن إنقاذ إمدادات الطعام والسفن، ولما وقع أى حريق. وإذا كانت ميكانيكا نيوتن يمكنها بنجاح أن تتنبأ بالأوضاع المضبوطة للكواكب، فليس في هذا إلا أدنى العزاء.

ومن الحقيقى أن لشبونة قد ضربها زلزال قبلها منذ قرون معدودة (١٥٣١) وقتل أيضًا وقتها الآلاف من الناس. ولكن هذا قبل التنوير، عندما كان البشر مازالوا يجهلون قوانين الطبيعة. ولم يوثق هذا الحدث الأقدم إلا نادراً، ولعله كان فى إمكان مفكرى القرن الثامن عشر أن يفترضوا أن كارثة القرن السادس عشر لابد وأنها قد سبقتها إشارات من الطبيعة راحت بدون أن يلحظها سكان المدينة فى زمن ما قبل العلم. ولكن ها هى الآن كارثة ١٧٥٥ تطرح أنه ليس مما يُتوقع دائمًا وجود إنذارات. فالطبيعة يمكنها حقًا أن تقلب الحضارات رأسًا على عقب بدون أن تجاملنا بإرسال تنبيه مسبق. وفى وقت كهذا لا يمكننا أن نعتد كثيراً بنجاحات نيوتن فى الكشف عن أسرار الكون[٣].

إن للكون ساعاته ، ولكنه له أيضًا نموره. هل فى قدرة المعادلات النيوتونية أن تتنبأ بما يحدث إذا اشتبك النمر بذيله بقطار متحرك له تروس تعشيق مضبوطة؟ هل يمكن قط لمعادلات أخرى أكثر إرهافًا أن تكون لها القدرة على استخلاص تنبؤ كهذا؟

التنبؤ قديماً

هيا نرتد فى الزمان قليلاً إلى الوراء لننظر أمر الطريقة التى ربما نشأت بها فكرة التنبؤية نفسها. يخبرنا علماء الإتيمولوجيا[*] أن كلمة كارثة بالإنجليزية disaster تأتى من توليف dis أى غير المواتى مع astro أى النجوم. فالنسبة للقدماء نجد أن

(*) الإتيمولوجيا علم دراسة أصل الكلمات وتاريخها . (المترجم)

الكارثة disaster هى حرفيًا حدث تسببه نجوم شريرة. فأصل هذه الكلمة أكثر من أن يكون مجرد أمر تافه، إنه يلتمس منا أن نبحث السبب فى أن القدماء قد اختاروا أن يربطوا النجوم، تلك النقط الضوئية البعيدة التى لا يمكن الوصول إليها، مع الأحداث التى تؤثر فى البشر العائشين فوق الأرض.

إن أطلال "ستونهنج"(*) فى إنجلترا ليست إلا واحدًا من شواهد أثرية كثيرة تدل على إيمان البشر فى عهود ما قبل التاريخ بوجود صلة بين السماء والأرض. وهذا التقويم الفلكى المارد يرجع تاريخه إلى قرابة سنة ١٥٠٠ ق.م.، وهو يتكون من دائرة من ٩١ مترًا (٣٠٠ قدم) من حجارة رأسية هائلة يبدو أن الكثير منها قد نُقل إلى هذا الموقع من أماكن تبعد عشرات الكيلو مترات. ومن الواضح أنه عندما تبذل الجهود بالنطاق الذى بُذلت به فى ستونهنج أو فى مراصد الماى(**) فى يوكاتان، أو مراصد الأناسازى (***) الأقل شهرة الموجودة فى جنوب غرب الولايات المتحدة، فلابد وأن قواد هذه المجتمعات فى عصور ما قبل التاريخ كانوا جد مقتنعين بأن النجوم لديها شىء ما تقوله له علاقة بالبشر.

والحقيقة أن الأدلة على ذلك لم تكن بالأدلة الخفية. ففى مصر هناك فيضان النيل الذى يجدد العناصر المغذية لأرض المزارع، ويتيح إنشاء المدن التى لا حاجة بها للانتقال بعد مواسم زراعة معدودة، وهذا الفيضان يبدأ سنويًا بإشارة من أول بزوغ لكوكبة نجوم بعينها تعلو الأفق. ويظل مما يتكرر سنة بعد سنة وقرنًا بعد قرن، أنه ما إن تنتقل النجوم إلى مواقع معينة فى السماء، حتى يتبع ذلك فى التو أن يحدث الفيضان. والحقيقة أن مفهوم السنة نفسه ربما قد نشأ من هذا النوع من الرصد، أولى من أن يسبقه. وفى الوقت نفسه حدث عند خطوط عرض أكثر شمالاً، أن اكتشفت مجتمعات الصيد وجمع الثمار أن هجرات القطعان البرية وأسراب الطيور لها علاقة

(*) ستونهنج أطلال أثرية فى سهل سالزبورى بإنجلترا تتكون من أعمدة فى دائرة كبيرة مع عوارض تعلوها، وكلها مصنوعة من حجارة ضخمة غير منحوتة. (المترجم).

(**) المايا: هنود حمر لهم حضارة راقية نسبيًا ترجع إلى ما قبل كولومبس، ومكانها فى يوكاتان جنوب المكسيك وشمال أمريكا الوسطى (المترجم)

(***) الأناسازى. أصحاب حضارة قديمة تاريخها فيما يحتمل من ١٠٠ - ١٣٠٠ ميلادية. (المترجم).

ارتباط مع عودة ظهور أنماط معينة للنجوم فى السماء. وهناك مجتمعات كثيرة فى عهود ما قبل التاريخ تفصلها مسافات بعيدة ، وكلها قد تبينت أن الحفاظ على حياتها يتزامن مع دورات فلكية. ولا شك أن إيمان قدماء البشر بثبات هذه الدورات السنوية هو الذى أعطاهم الثقة ليستقروا أولاً فى مناطق ذات شتاء قارس، لأنهم يعرفون أنه حتى أسوأ فصول الشتاء سيكون له أمده المحدود الذى يمكن التنبؤ به .

على أنى لا أطرح أن علاقة الارتباط بين الدورات الفلكية والأرضية كانت أمراً واضحًا بالذات. إن نجم السماك الرامح (أركتوروس) يبزغ عند غروب الشمس، وبعدها بأيام قليلة يعود الإوز. ولا يسجل أحد شيئًا من ذلك. ويتكرر وقوع الحدثين مرة أخرى، بعدما يقرب من ٣٦٥ من الأيام، بعد آلاف من المشاهدات والخبرات اليومية الأخرى للبشر. هل سيربط الشخص المتوسط فى التو بين طلوع النجم وعودة الإوز؟ لا أظن ذلك .

إلا أن هناك آلافًا كثيرة من السنين لعهود ما قبل التاريخ، وهناك مئات الآلاف من الراصدين المحتملين فى أى سنة بعينها. وفى النهاية فإن من المحتم أن أحدهم سوف يلحظ وجود علاقات ارتباط عجيبة كهذه. وإذ تنتشر المعلومة فلابد من أن شخصًا ما متطلعًا سوف يتجاوز مجرد المشاهدة ويستنتج الطريقة ليتنبأ بالوقت الذى ستعود فيه "فى المرة التالية" أسراب الإوز أو الفيضانات وهذا المرء أو هذه المرأة سيكون أول عالم فى الإنسانية فجوهر العلم هو التنبؤ .

من خلال مثل هذه التنبؤات الناجحة ولد مفهوم "السنة". ولو أن إنسانًا قديمًا أخذ يصنع بصبر حزًا فى عصا فى كل يوم، أو يضع الحصى فى كومة، فإنه (أو إنها) سوف يجد أن هناك دائمًا ٣٦٥ دورة نهار وليل فى كل دورة سنوية واحدة. على أنه ليست هناك ضرورة لعد الأيام بالفعل، فالحقيقة أن الأسهل من ذلك هو استخدام العلامات الفلكية. وعندما نرقب شروق الشمس فى كل يوم، وقد وقفنا فى نقطة الرصد ذاتها، سنجد أن الشمس لا تتسلل دائمًا فوق النقطة نفسها من الأفق. فالشمس فى نصف الكرة الأرضية الشمالى تشرق أثناء الربيع وهى تبتعد إلى الشمال قليلاً فى كل

يوم حتى تصل أقصى نقطة شمالية فى شروقها. ويكون هذا اليوم هو الانقلاب الصيفى، أى يوم أطول فترة لضوء النهار. ثم تتحول الشمس فى الأيام التالية تجاه الجنوب عبر الأفق الشرقى حتى تصل إلى أقصى نقطة جنوبًا. وهذا هو الانقلاب الشتوى، يوم السنة الذى تكون فيه أقصر فترة لضوء النهار. ولا شك أن الأفراد الذين أظهروا لأول مرة فهمًا لهذه الأنماط قد نالهم التقدير والدعم من مجتمعاتهم بسبب قدرتهم على التنبؤ بالمستقبل.

هناك دورة فلكية أخرى أشد قصراً ولها علاقة ارتباط بالأرض. ففى المجتمعات التى تستمد عيشها من البحر، نجد أن موجات تدفق المد وانحسار الجزر لها أهمية كبيرة. فالسفن تغادر المرفأ مع الجزر الخارج وتدخل إليه مع المد الداخل. وإذا تزامنت عاصفة مع مدٍّ عالٍ، فإن مجتمعات ساحل البحر تستعد للفيضان. وقد رُصد من عهود قديمة أن موجات المد والجزر لها علاقة ارتباط بموقع القمر: وعندما نرى القمر فى موقع معين فوق الأفق عند مدٍّ عالٍ، يمكننا أن نكون واثقين أن موجة مد عالية أخرى ستحدث عندما يظهر القمر ثانية فى الموقع نفسه، بعد زمن يزيد قليلاً عن يوم واحد. وهذه كلها أمور مباشرة بما يكفى. على أننا نجد أنه فيما بين هذين الحدثين سيكون هناك موجة مد عالية "أخرى" يسبقها ويلحقها جزرها الخاص بها. وبالتالى، فإن موقع القمر يخبرك فحسب بزمن وقوع موجات المد "بالتبادل" وسنجد من فوق هذا النمط أن موجات المد تكون كل ١٥ يومًا عالية على وجه الخصوص (كما يكون جزرها بالذات منخفضًا). وهذه الدورة الأخيرة لها علاقة ارتباط بما يرصد من أن القمر يمر بمجموعة كاملة من المراحل من اكتمال البدر حتى اكتماله التالى فى ٢٩,٥ يومًا. وتُرصد أقصى موجات المد والجزر عندما يكون القمر فى أطواره المكتملة الجديدة (وإن كان ذلك لا يحدث بالضرورة توَّ الوقت). إن الدلالة واضحة على أن السماء تؤثر فى البحار بطريقة يمكن التنبؤ بها على الأقل جزئيًا، وإن لم يكن نمط ذلك بسيطًا على أى نحو. وبالوصول إلى هذه المرحلة أصبح علم الفلك البازغ راسخ القدمين. بل لقد أصبح من المعقول إلى حد كبير فى سياق الفهم القديم فى عصور ما قبل التاريخ أن تطرح الفروض بأن "كل" الدورات الفلكية لها علاقة ارتباط بدورات من الأحداث الأرضية. وطرح الفروض أمر طيب، فالعلم يتقدم هكذا.

تُرى أى دورات فلكية أخرى قد تكون لها أهميتها؟ إن ما تبقى منها هو فقط دورات تستغرق أكثر من سنة: كظهور كواكب مرئية فى كوكبة نجوم بعينها، ووجود الكواكب على نفس الخط (الاقترانات) وكسوف الشمس، وظهور المذَنَّبات دوريًا، وما إلى ذلك. وعلى الرغم من أن هذه الأحداث يكثر إلى حد ما أن تحدث فى التقويم الزمنى الكونى، إلا أنها نسبيًا قليلة خلال مدى حياة الإنسان. وبالتالى، فإن ظهور مذنَّب كبير فى السماء أثناء شهور هزيمة إحدى الإمبراطوريات (كما حدث سنة ١٠٦٦ ميلادية) قد يجعل راصد ذلك يطرح الفرض بأن الإمبراطوريات تسقط عندما تظهر المذنبات. وهذا ليس محض تخمين، ذلك أن له أساسًا من المشاهدات. والمشكلة هى أن هذا الفرض يحتاج إلى مزيد من التحقق من صدقه. والأرجح كثيرًا أن الراصدين الأصليين سيموتون قبل أن يعاود المذنب الظهور بعد ست وسبعين سنة، حيث لن تسقط إمبراطورية وقتها. ولما كانت الطبيعة البشرية قليلة الصبر نوعًا، فإننا نقفز إلى الاستنتاجات بدلاً من التريث .

وهكذا فإن ما تبقى من دورات فلك ذات أهمية، لها زمن طويل بما لا يتيح لأى فرد أن يتحقق من صدق أو زيف أى فرض تنبنى خلال مدى حياة الإنسان، ونتج عن ذلك أن علم الفلك البازغ أدى حتميًا إلى ولادة علم زائف غامض هو علم التنجيم. وعلى الرغم من أن خرائط التنجيم قد تكون لها قيمة غامضة فى إضفاء الطمأنينة على بعضهم، إلا أن من الواضح أنها لا تُعد سوى طريق مسدود عند من يتفهمون معنى ديناميات الكون، لأن هذه الخرائط قد انفصمت منذ زمن طويل عن جذورها فيما يتعلق بالصدق فى التنبؤ. وحتى ننجح فى تفسير الكوارث، يجب أن نتجاوز أى اعتبارات "للنجوم غير المواتية".

الأعداد والطبيعة

الأعداد نفسها تجريد، إنها منتجات للعقل البشرى لا وجود لها فى الطبيعة. ومع ذلك فإننا كثيرًا ما نجد أن من الأمور المفيدة التى لها معنى أن نربط الأرقام بالأشياء الطبيعية. ونحن نستطيع فعل ذلك بطريقتين: بواسطة العد أو بواسطة القياس.

و"العد" شأنه مباشر، والأمر فيه هو أن نضع منظومتنا من الأعداد الصحيحة (الأعداد التامة) فى تناظر الواحد بالواحد مع مجموعة من الأشياء التى نلحظها. وبهذا فإننا نستطيع أن نعد ١٤ بطة فى إحدى البرك أو ٥٦ فرداً فى غرفة. ونحن لا نحصل على كسور من البط أو كسور من الناس. وسواء استخدمنا النظام المترى أو نظام القياس فى الولايات المتحدة فإن الإجابة لا تختلف. وأربع عشرة بطة مترية هى ١٤ بطة بمقياس الولايات المتحدة، فهذا هو ذاك .

إلا أنه يبدو أن أمنا الطبيعة لا تقتصر فى أنماطها الكمية على الأعداد الصحيحة. قرابة سنة ٥١٠ ق.م. أجرى الفيلسوف فيثاغورس(*) فوق جزيرة ساموس الإغريقية بعض تجارب غير مسبوقة بآلات موسيقية وترية(٤). أخذ فيثاغورس آلة موسيقية متعددة الأوتار وعدل من شد الأوتار حتى أصبحت كلها تصدر نفس النغمة. ثم إنه وضع مشطاً تحت أحد الأوتار عند منتصف طوله ووجد أنه عندما يدق الوتر يكون الصوت متناغماً مع الوتر الذى بلا مشط. إلا أنه عندما حرك المشط مجرد حركة قليلة بعيداً عن نقطة المنتصف، وجد أن الأصوات الناتجة متنافرة. وبمواصلة البحث، وجد تناغمات موسيقية عندما يُوضع المشط عند الثلث والربع والخمس والسدس من طول الوتر. وقبل ذلك كانت الأعداد الكاملة هى وحدها التى تصاحب الأشياء الطبيعية، أما الآن فقد وجد فيثاغورس لأول مرة علاقة لإحدى الظواهر الطبيعية (الصوت) مع الكسور (تجريد رياضى من ابتكار العقل البشرى). وهذا أمر يختلف عما يحدث عندما نقطع رغيف خبز إلى ثلاثة أثلاث، فارضين نمطاً قد ابتكرناه عقليًا على الحقيقة الخارجية للخبز. فهناك ما هو أعمق كثيراً من ذلك عندما تخبرنا آلة وترية بأنها تفضل أن تكون مرفوعة على مشط عند الأثلاث أو الأنصاف أو الأرباع، لأنه بغير ذلك يكون صوتها شنيعاً .

ولكن لنفرض أن المشط قد وضع عند نقطة ينتج عنها صوت يتنافر تمامًا مع الوتر الذى بلا مشط. أليست هذه النقطة، أيًا كان مكانها، تتخذ وضعها عند كسر ما

(*) فيثاغورس : فيلسوف ورياضى إغريقى من القرن السادس قبل الميلاد، يعتقد أن الحقيقة أصلاً رياضية ، وأن أساسها هو العدد. (المترجم) .

من طول الوتر؟ ظل فيثاغورس يجهد تفكيره في هذه الفكرة. هل من الممكن أن يكون لدينا طولان لوترين "لا يمكن" توصيف النسبة التي بينهما بكسور أعدادها صحيحة؟ ثبت في النهاية أن الإجابة هي نعم. هناك مواضع كثيرة (في الحقيقة ما لا نهاية من المواضع) التي يمكننا عندها أن نرفع الوتر بمشط بدون تقسيمه حسب نسبة من أعداد صحيحة. إن الأعداد الصحيحة والكسور لا تشمل كل الأعداد التي قد نود استخدامها في وصف الطبيعة. إننا نحتاج أيضًا لأرقام مثل باي (π) و $\sqrt{2}$، حتى ولو كان السبب الوحيد لذلك هو وصف مواضع المشط التي تعطي أصواتًا شنيعة.

أنشأ فيثاغورس وتلاميذه التقليد بأننا ينبغي أن نتوقع وجود أنماط رياضية في الطبيعة. ويساوي ذلك في الأهمية أنه يبين أن الوصف الكامل لهذه الأنماط لا يمكن أن يعتمد فحسب على أرقام العد (الأعداد الصحيحة). وإذا أردنا أن نوصف الظواهر الطبيعية كميًا فإننا سنحتاج أحيانًا إلى ابتكار تجريدات رياضية جديدة .

وقد أوضح فيثاغورس أيضًا أننا لا يمكن أن نأمل أبدًا أن نفهم الطبيعة إذا قيدنا أنفسنا بالعد وحده. فنحن في حاجة أيضًا إلى عملية مختلفة تمامًا: شيء ما نسميه الآن "القياس". ونحن نعني بالقياس مقارنة كم فيزيقي بمعيار. والنتيجة العددية لهذه المقارنة تعتمد على المعيار المستخدم، بحيث إن طول أحد الأفراد قد يكون في نفس الوقت ٦٧,٥ بوصة، أو ١٧١ سنتيمترًا، أو ٥,٦٢ قدمًا أو ٠,٠٠١٠٦٥ من الأميال. ونحن نختار المعيار الذي يناسب هدفنا أحسن الملاءمة. على أننا يجب أن نبقي في الذهن أن أيًا من هذه الطرائق للتمثيل ليس مضبوطًا، ذلك أن احتمال الحصول على علاقة عددية مضبوطة عند إجراء مقارنة هو واقعيًا احتمال من صفر. فالقياس "المضبوط" هو دائمًا تناقض في الحدود.

وحسب التقليد الفيثاغورسي، فإن العلماء المحدثين يبذلون الكثير من وقتهم وهم يكافحون ليجدوا أنماطًا عددية في الطبيعة. على أن العلماء يدركون أن الأعداد نفسها أمر مصطنع تمامًا، وأنها قاصرة تمامًا عن أن تصف الحقائق الأساسية للكون. وما يهم العلم هو طريقة تفسير الأعداد التي تتعلق بالموضوع، وما تتضمنه هذه التفسيرات عن سياق الأحداث في المستقبل.

خطوة هائلة للوراء

كثيراً ما يحدث خطأ أن نرجع الفضل لتقاليد الفكر العلمى الحديث إلى الفيلسوف الإغريقى أرسطو (٣٨٤ – ٢٣٢ ق.م) ، وهو تلميذ أفلاطون ومعلم الإسكندر الأكبر. وعادة فإن الواحد منا لا يعد الأستاذ مسئولاً عن طموحات تلاميذه بتوجهاتها الخطأ، وبهذه الروح يمكننا أن نجد العذر لأرسطو لأنه قد علّم واحداً من الفاتحين عُرف فى التاريخ بأنه أكثرهم إصابة بجنون العظمة. وسرعان ما انهارت إمبراطورية الإسكندر الأكبر بعد موته المبكر، وأصبحت حياته بعد أن مر زمن طويل غير ذات أهمية إلى حد كبير. أما أرسطو فكان له تأثير أطول بقاء. فقد ظلت بعض كتاباته تواصل تأخير التقدم فى العلم طوال الثمانية عشر قرناً التالية .

وكتابات أرسطو التى بقيت، تصف العلم على أنه عملية محض عقلية، هدفها أن تعين الحقائق المطلقة للكون. وتبدأ هذه العمليات بملاحظة "الجزئيات"، الأحداث الفردية التى تحدث فى خبرات حياتنا. ومن هنا ينشئ أرسطو "الكليات" أو الحقائق المجردة المشتركة لفئة من الجزئيات. وعندما يتم تعيين ما يكفى من الكليات، فإنها تُضم معًا لنحصل على كليات من مرتبة أعلى. وفى النهاية، ينبغى أن تؤدى هذه العملية للوصول إلى "المبادئ الأولى" أو الحقائق التى لا يمكن تفسيرها بلغة من أى شىء آخر. ولا يوجد سوى قلة معدودة من العلماء المحدثين سيختلفون مع أرسطو فى هذا الجزء من مشروعه الفكرى .

ويخبرنا أرسطو أننا حتى نستطيع تسلق هرمه العقلى، سنحتاج أولاً إلى أن نصنف الأشياء حسب "مقولاته" ثم نطبق بعدها قواعد منطق أرسطو، التى تصبح معقدة نوعًا فى تفاصيلها ، ولكنها مبنية أساسًا على بديهية أن الشىء لا يمكن أن يكون معًا موجوداً وغير موجود على نفس المنوال وفى نفس الوقت". فالشخص مثلاً إما أن يكون أو لا يكون أصلع. (لا يُسمح هنا بأى "منطق مشوش"، فليس من أفراد قد يكونون فى طريقهم للصلع). وعلى مستوى أكثر عمقًا فإنه "بديهيًا" يمحو أى نموذج أساسى فيه تغير تدريجى. والتطور فى الطبيعة أمر مستحيل استنتاجه من العلم الأرسطى .

على أن هناك أخطاء أكثر خطورة من ذلك. فملاحظة أرسطو "للجزئيات" كانت تماماً غير تقليدية، فهو لم يكن يؤيد إجراء تجربة أو قياس حسب تقاليد فيثاغورس. فالعلم الأرسطي لا علاقة له بالتناولات اليدوية، وهو فحسب يتعلق بالعقل. فهو يكتب مثلاً أن الأجسام الأثقل تسقط بسرعة أكبر من الأجسام الأخف، في حين أن إجراء تجربة بسيطة جداً كان يمكن أن يثبت أن الوزن ليس هو المتغير الحاسم بالنسبة لسرعة السقوط الحر لأحد الأجسام. والحقيقة أن نفس النظام المنطقي لأرسطو كان يمكن أن يخبره بهذا، فمنطق "الدليل غير المباشر" كان يمكن أن يجري كالتالي :

لنفرض أن جسماً وزنه ١٠ أرطال يسقط بأسرع من جسم وزنه ٥ أرطال. ولكن الجسم الذي يزن ١٠ أرطال يكون وزنه مثل وزن جسمين من ٥ أرطال ملصقين معاً. وإذن، فإن جسماً من عشرة أرطال سيسقط بأسرع من أي من نصفيه.

ولكن هذا فيه تناقض داخلي .

وإذن، فإنه يجب رفض المقدمة الأولى.

لا، إن أرسطو نفسه لم يطرح أبداً هذه المحاجة، وهذه هي نقطتي المهمة. فأرسطو كان يقصر أدلته على مقدمات يظن بالفعل أنها حقيقية، وفيما عدا بعض ملاحظات بيولوجية تافهة نسبياً، فإن كتبه التي ألفها فشلت في أن تنتج تبصراً علمياً جديداً واحداً له أي أهمية. وفشله في أن يتفهم قيمة التجربة المحكومة كان يعكس وضعه الاجتماعي نفسه: فالنخبة من الأثينيين في زمنه كانوا ببساطة لا يؤدون مهام يدوية. وبالإضافة، فإن وجوب إجراء تجارب كان سيتناقض مع نظرة أرسطو للعالم التي ترى أن حياة العقل وحدها هي التي تؤدي إلى أرقى الحقائق .

وأخطر مشكلة في منهج أرسطو العلمي تكمن في نبذه للتجريب الذي يحقق المصداقية. ذلك أنه ما إن يصل المرء إلى الحقائق الكلية، فأي اختبار يبقى هناك؟ فحقائق أرسطو ما إن يتم التوصل إليها حتى تكون مطلقة، وليس من حاجة لأي اختبار. وأي واحد يتشكك في أساس ملاحظة هذه الحقائق إنما يُظهر فحسب قدرة عقلية منحطة ، ويجب ألا يؤخذ مأخذاً جدياً. وعندما قرر أرسطو أن الأرض هي مركز الكون، فإن هذه الحقيقة كانت بالنسبة له هو وأتباعه حقيقة مطلقة، والأمر هكذا قد

حُسم للأبد. على أنه عند التطبيق عمليًا، يتبين أن هذه الأمور ظلت تُعد محسومة فحسب لفترة الثمانية عشر قرنًا التى تم استغراقها حتى ظهرت طريقة جديدة لأداء العلم .

العلم والسلطة

فى قرابة عام ١٢٥٠ ميلادية وقعت نسخة من كتابات أرسطو بين يدى توماس الإكوينى(*) الراهب الدومينيكى وشدته شداً هائلاً فكرة البرهنة على حقائق الكون بواسطة المنطق الخالص، على نحو يكون البرهان به منيعًا إزاء أى تحد آخر. واستخدم الإكوينى المنطق الأرسطى ليبرهن على كل تعاليم الكنيسة الكاثوليكية الرومانية، وباستنفاد هذه التعاليم فإنه واصل البرهنة على عدد واسع من تلخيص لحقائق لاهوتية جديدة لم تخطر قط على بال أحد من قبل. وعندما مات عن عمر يبلغ ٤٩ عامًا، كان مؤلفه "بحث شامل لاهوتى" قد بلغ عشرات عديدة من الأجزاء الضخمة. وصادق الكرسى البابوى على المؤلف فى مجموعه، وصادق معه على كل الكتابات الأرسطية التى تأسس عليها "البحث الشامل" وهكذا فإن ما بدأ كطلب للحقيقة العلمية أصبح الآن عقيدة، يلزم الإيمان بها تحت التهديد بالحرمان من الكنيسة أو ما هو أسوأ .

ولكن حتى توماس الإكوينى وسلطات الكنيسة ليسوا بالذين يمكنهم أن يتوقعوا كل فكر بشرى ممكن، وكان هناك فى تعاليم الكنيسة عدد كاف من الثغرات يتيح ظهور بعض الاكتشافات الجديدة، خاصة فى علم وظائف الأعضاء والخيمياء(**) ، والمجالات التطبيقية بأكثر من الميكانيكا والتصميم الإنشائى. وفى نحو عام ١٣٤٠ طرح ويليام أوف أوكام فى إنجلترا معيارًا يساعد الواحد منا على الاختيار بين التفسيرات البديلة لنفس الظاهرة ، وهذا المعيار الذى مازال لأسباب غير معروفة يُشار إليه بأنه "نصل أوكام" يمكن أن نذكره كالتالى:

(*) توماس الأكوينى فيلسوف ولاهوتى إيطالى (١٢٢٥ - ١٢٧٤). (المترجم)

(**) الخيمياء كانت تُعنى أساسًا بتحويل المعادن الرخيصة إلى ذهب، وإيجاد إكسير يعالج كل الأمراض ويطيل الحياة وهى الأصل الذى تطور لعلم الكيمياء الحديثة. (المترجم)

عندما تُطرح تفسيرات عديدة متضاربة للمجموعة نفسها من المشاهدات، يكون أفضل تفسير هو ما يحوى أقل عدد من الفروض المستقلة.

ولنلاحظ أن "نصل أوكام" لا يُشير إلى "الحقيقة" ، وإنما يشير فقط إلى "أفضل" تفسير. وهذه خطوة هائلة للأمام.

وكمثل بسيط، هيا نعود مرة أخرى إلى كارثة لشبونة. إن أحد الفروض هو أن هناك ثلاثة أحداث منفصلة:

١- عاصفة هائلة في مكان ما من الأطلسي أرسلت موجات عظيمة ساحقة إلى الساحل البرتغالي، بينما في نفس الوقت تقريباً،

٢ - أصاب الزلزال لشبونة، بينما تزامن تقريباً مع ذلك ،

٣ - اندلاع حريق في المدينة.

ويطرح فرض آخر أنه كان هناك زلزال واحد كبير تحت قاع البحر عند ساحل البرتغال، وأن هذا الحدث مسئول عن هذه الظواهر الثلاث كلها وهذا الفرض الثاني، إذ يربط الموجات الزلزالية والموجات التسونامية والحريق بسبب أصلي واحد، هو بالتأكيد التفسير الأفضل أو الأكثر احتمالاً. ولكن هل الفرض الثاني حقيقي؟ ليس من طريقة للتيقن من ذلك. وكل ما يمكننا هو أن نستقر على ما هو "أفضل" على أساس من الأدلة التي يحدث أن تكون متاحة لنا.

والعلم الحديث لا يزعم أنه يكشف عن حقائق مطلقة. وبدلاً من ذلك فإنه يولد تفسيرات افتراضية، ثم يغربلها بحيث لا يبقى منها إلا أبسطها. ونحن لا نعني بالضرورة بكلمة "أبسطها" أنها الأسهل فهمًا. والأولى أننا نقصد البساطة بمعنى الاعتماد على أقل عدد من الفروض المستقلة. وكمثل، فإن نظرية أينشتين عن النسبية الخاصة، تُفسر عدداً هائلاً من أحداث شتى بمقاييس تتراوح مما هو تحت الذرى حتى ما هو كوني، وذلك بأن بدأت النظرية بفرضين أساسيين ليس إلا. وبهذا المعنى فإنها بسيطة إلى حد مذهل، ذلك أنه لا توجد أي نظرية منافسة يمكنها أن تفسر الكثير هكذا بلغة مقتصدة هكذا. على أن نظرية النسبية لا يمكن أن تعد مجرد نزهة عقلية.

ولعل ميكولاج كوبرنيك لم يسمع قط بأوكام، ولكن هذا الكاهن البولندى استخدم فى السنين المبكرة من القرن السادس عشر النصل نفسه ليذبح بها إحدى الأبقار المقدسة فى التراث الأرسطى: إن الأرض مركز الكون. بحلول عام ٢٠٠ ميلادية كان قد تم بناء بنية تحتية هائلة من الرياضيات لتفسر حركات الكواكب بالنسبة للأرض التى يُفترض أنها ثابتة، ومع التنقيحات التى حدثت فى القرون التالية لذلك وصلت أعمال هذا النموذج الرياضى إلى أن أصبحت تعتمد على عشرات فوق عشرات من الفروض المستقلة. وبيّن كوبرنيك (الذى حول اسمه إلى "كوبرنيكوس" باللاتينية) كيف أن نفس أرصاد الكواكب هذه يمكن تفسيرها بسهولة تمامًا بأن نعامل الأرض على أنها فحسب أحد الكواكب، التى تدور كلها حول الشمس. وحسب التقليد الأوكامى، كان كوبرنيكوس حريصًا على أن يقول إن هذا ليس بالضرورة هو "الحقيقة" وإنما هو الطريقة الأسهل كثيرًا جدًا جدًا فى النظر إلى الأمور. وأظهر كوبرنيكوس المزيد من الحذر من إزعاج سلطات الكنيسة، وأجّل نشر أفكاره حتى عام ١٥٤٣، حيث رقد وقتها فى فراش الموت .

درس كوبرنيكوس فى إيطاليا، وعاش فى أوروبا الشرقية حيث سلطة الكنيسة الكاثوليكية ثابتة لا تتغير. أما فى أوروبا الشمالية وبريطانيا فكانت تعيش مجتمعات قد خرجت على السلطة البابوية. ولما كان جوهانز كبلر (١٥٧١ - ١٦٣٠) يعمل فى ألمانيا والدنمارك فإنه لم يتعرض لضغط دينى سلطوى يجعله يستمر فى الإيمان بأرسطو .

كان كبلر يعتقد أن كل أحداث الماضى، وكل ما سوف يحدث فى المستقبل، قد تمت برمجته فى مادة الكون عند لحظة خلقه. وبالتالى، إذا كان فهمنا صادقًا، ينبغى أن نكون قادرين على التنبؤ بما يكشف الغطاء عن أحداث مخصوصة جداً من المستقبل. وإذا تأيد هذا التنبؤ بالسياق الفعلى للأحداث، فإن هذا يثبت فهمنا. أما إذا "لم" يقع الحدث المتنبأ به، فيجب أن نكون مستعدين لنبذ تفسيرنا، وصياغة تفسير جديد، لنكرر العملية. وباستخدام هذا المعيار طوال فترة من عقود عديدة، نجح كبلر فى النهاية فى صياغة ثلاث قواعد (أو قوانين فيزيائية) تتيح لأى فرد أن يتنبأ بأوضاع الكواكب فى أى وقت فى المستقبل، وذلك بدقة لا يحدها إلا مدى حدة البصر. ومن الشيق أن كبلر أيضًا قد أعال نفسه ماليًا بحساب الطالع من خريطة الأبراج لأفراد

طبقة النبلاء، وهى محاولة كانت تنبؤاته فيها أقل دقة. وعلى الرغم من ذلك فإنه حتى وفاته كان يؤمن بأن كل الأحداث، بما فيها مستقبل أفراد البشر ، هى من حيث المبدأ قابلة تماماً للتنبؤ.

أثناء ذلك كان جاليليو جاليلى (١٥٦٤ - ١٦٤٢) فى إيطاليا يضيف بُعداً جديداً إلى عملية البحث العلمى: وهو التجريب المحكوم. ظل المدرسون والأساتذة طوال الثمانية عشر قرناً السابقة يخبرون الطلبة، حسب الرجوع إلى أرسطو، بأن الأجسام الثقيلة تسقط بأسرع من الأجسام الخفيفة. يبدو أنه لم يحدث طيلة هذه السنين كلها أن حاول أحد اختبار هذه النظرية بإجراء تجربة (وإلا فإن أحداً لم يجرؤ على الحديث عن النتائج). صعد جاليليو إلى قمة برج بيزا المائل، وانحنى فوق سوره، وأسقط فى وقت واحد أزواجاً من كرات من أوزان مختلفة. وكان وهو يفعل ذلك حريصاً على التأكد من أن هذه الأجسام تختلف "فقط" فى أوزانها. وهو مثلاً لم يقارن بين طلقات المدافع والريش، لأن أجساماً كهذه ستختلف فى خصائص عديدة واضحة بخلاف وزنها. أدرك جاليليو أنه إذا كان المتغير موضع الاهتمام هو الوزن، فينبغى أن يكون هو المتغير الوحيد الذى نغيره. وكانت نتيجته المشهورة: أن الأجسام الثقيلة تسقط بنفس سرعة الأجسام الخفيفة عندما تتساوى كل العوامل الأخرى .

ذهب جاليليو لأبعد بفكرته عن التجريب المحكوم فدرس أنواعًا شتى من حركات أخرى، بما فى ذلك حركة ثُقل يتدلى فى نهاية خيط. واستنتج أن فترة حركة البندول تعتمد فقط على طوله وليس على وزنه، وأدى هذا الاستنتاج سريعًا إلى نتائج جانبية تقنية فى تصميم الساعات المضبوطة. ثم انتقل جاليليو إلى علم الفلك ، ودخل فى متاعب خطيرة مع سلطات الكنيسة. فبعد إدخاله تعديلاً على التليسكوب الذى كان قد اختُرع حديثًا فى هولندا، سدده جاليليو إلى السماء واكتشف أطوار كوكب الزهرة وأربعة أقمار تابعة للمشترى. وكان هذا يعنى أن هناك أجرامًا سماوية "لا" تدور من حول الأرض ، وهذه نتيجة من الواضح أنها لا تتوافق مع نظرية الكون الذى تكون الأرض مركزه. وأعلن جاليليو بفخر لكل من يُظهر أدنى اهتمام، أنه قد فَنَّد للمرة الأولى والأخيرة نظرية أن الأرض هى مركز كل شىء. إلا أن هذا نتج عنه تحذير

صارم من الهيئة البابوية، التى رأى أفرادها أن سلطتهم تتخرب. ورد جاليليو على ذلك بكتابه "حوار عن النظامين الأساسيين للعالم"، وفيه يحاول سمبليكوس، وهو صورة كاريكاتورية للبابا أوربان الثامن غُطيت بقناع شفاف، بلا فاعلية (ويغباء) أن يدافع عن نظرية مركزية الأرض. وقد مثل جاليليو بسبب ذلك للمحاكمة، وأرغم على أن ينكر تعاليمه المهرطقة، وأبقى حبيس منزله طوال تسع سنوات، حتى موته فى سنة ١٦٤٢ وعمره ٧٨ عامًا. ولم تعف الكنيسة عنه رسميًا إلا فى عام ١٩٩٢، على أن عقاب جاليليو يُعد مخففًا بالمقارنة بعقاب زميله العالم الإيطالى جيوردانو برونو، الذى أُحرق على عمود المحرقة فى عام ١٦٠٠ لهرطقة علمية مماثلة .

ويُحسب للكنيسة، أنها تعلمت درسًا من تلك العصور المظلمة، وأقرت السلطات الكنسية بذلك فى وضوح فى وقت سبق كثيراً العفو عن جاليليو فى عام ١٩٩٢ ، فعندما حدث فى منتصف القرن التاسع عشر، أن شد العلم مرة ثانية البساط من تحت معتقد أساسى فى عقيدة الكنيسة، وهو الاعتقاد بالصدق التاريخى لقصة الخلق فى سفر التكوين، عندما حدث ذلك فإن سلطات الكنيسة الكاثوليكية تجنبت اتخاذ موقف رسمى. وتركت للكاثوليكيين الحرية فى تقبل أو رفض نظرية التطور حسب شروطهم العقلية الخاصة بهم. وفى الوقت نفسه يحدث لسوء الحظ أن السلطات الدينية للعديد من الطوائف المسيحية التى ظهرت مؤخراً، تفعل كل ما يمكنها لمنع تعليم التطور البيولوجى. وفى هذا ما يثير إلى حد ما بعضًا من السخرية، عندما نعرف أن البروتستانتية مدينة، فيما يتعلق بأصولها نفسها، لأفراد كانوا يقدرون تفكيرهم الخاص بهم تقديراً أعلى من آراء السلطات الدينية المسيحية السائدة. ولعل "أنصار مذهب التكوين" سيتعلمون أيضًا فى يوم ما هذا الدرس من التاريخ : فأمنا الطبيعة لا تهتم بأن تتوافق مع مجرد توقعات بشرية. فهى تفعل ما تفعل، وإذا كنا نريد الفهم، فإن الأمر يتوقف علينا من حيث ما نبذله من اهتمام "بها"، وليس الاهتمام بمجرد سلطات بشرية أو نُسخها المؤسسية من الحقائق المطلقة .

السبب والنتيجة

أحد الموروثات من أرسطو، التي مازالت معنا إلى حد كبير، فكرة السبب والنتيجة. فنحن نشهد حدثًا ونفترض أنه وقع "بسبب" شيء آخر[٥]. وعند أرسطو أن السبب والنتيجة يجب أن يكونا موجودين عند نفس النقطة من المكان، حيث السبب يسبق النتيجة بزمن قصير جداً فقط. وهذه المتطلبات "الخاصة" من التواكب زمنًا وموقعًا ضرورية حتى تمنع الواحد منا من أن يقول مثلاً إن النهار "يسبب" الليل، والليل "يسبب" النهار .

على أن فكرة السببية لا تظهر فى أعمال جاليليو، كما أنها ليست نغمة أساسية فى كتابات نيوتن. ولا ريب فى أنه توجد عند نيوتن "صلة" بين موجات مد وجزر المحيط هى والقمر، ولكن الصلة موجودة فى الاتجاهين. فلا يؤثر أحد الأجسام فى جسم ثان إلا إذا كان الجسم الثانى يؤثر أيضًا فى الأول. أيهما يكون السبب وأيهما يكون النتيجة؟ إن هذا يكون حسب حاجة الراصد. فإذا كان الراصد مهتمًا بموجات المد والجزر ، فقد يقول إن القمر "يسبب" دورات المد والجزر. أما إذا كان مهتمًا بالقمر فسيقول إن موجات المد والجزر فى الأرض "تسبب" أن يغير القمر تدريجيًا من مداره. فعنوانا السبب – النتيجة هنا ببساطة مما يتوقف على منظور المرء. كما أن ميكانيكا نيوتن لا تتطلب التواكب فى الموقع بين النتائج وأسبابها؛ وعلى كل فإن الشمس والأرض يمكنهما التفاعل جذبويًا عبر مسافة ٩٣ مليون ميل تكاد تكون فضاء خاويًا. والحدث فى أحد الأماكن قد يرتبط ارتباطًا قويًا بحدث ثان على بعد مسافة هائلة، وفيما يتعلق بذلك فإن الحدث الثانى قد يقع فى زمن متأخر تمامًا.

ومع ذلك فإن فكرة السبب والنتيجة تستمر باقية، وذلك معًا بسبب ملاءمتها عمليًا و"لأن" هذين المفهومين منسوجان معًا بإحكام فى قماشة لغتنا. نادرًا ما يكون الحدثان اللذان يؤلفان ثنائيات الأحداث النيوتونية على نفس درجة الأهمية؛ وعندما تأتى أمواج زلزالية وتنهار مدينة، فسيكون منظورنا البشرى الطبيعى أن الكارثة الإنسانية هى "النتيجة" وأن الموجة الزلزالية هى "السبب". ونحن لا نهتم كثيرًا بما تفعله المدينة المنهارة عكسيًا لتقلل من الموجة. ومع أن هذه النظرة المتمحورة حول الإنسان جد

طبيعية، إلا أنها يمكن أن تؤدى إلى إغفال التبصر فى أمور خطيرة. يزداد أحد الأنهار امتلاء فيدمر مدينة تتنامى، ونرى نحن الفيضان على أنه السبب فى هذا الدمار. فنحن لا ننحو إلى التساؤل عما إذا كان وجود المدينة نفسه هو الذى ربما يسبب الفيضان (من خلال أن يحدث مثلاً أن تزال الغابات محلياً، أو أن تُنشأ حواجز تمنع النهر من الانتشار إلى سهل فيضان طبيعى).

و"الحتمية" هى الرأى بأن كل الأحداث تنشأ بلا لبس عن أسباب محددة أحسن التحديد. وأن عوامل طبيـعية معينة تُعمل فعلها على منظـومات طبيعـية معينة بحيث لا بديل إلا أن ينتج عن ذلك نتائج يمكن التنبؤ بها. ومن المنظور الحتمى، إذا وقع حدث غير متوقع، فإن سبب ذلك إما :

١- أننا لا نفهم فهماً كافياً السلسلة الطبيعية للسبب والنتيجة، أو

٢ - أننا لم نبذل انتباهاً كافياً فى مشاهداتنا.

وحسب هذا الرأى فإن أمنا الطبيعة لا تلعب النرد؛ فهى تبرمج كل أفعالها برمجة مضبوطة فى كل زمان وفى كل مكان. وإذا أمكننا الكشف عما فى ذهن أمنا الطبيعة، فإننا ينبغى أن نكون قادرين نحن أنفسنا على اتباع برنامجها ، وأن نتنبأ بنجاح بكل حدث سيحدث قط، فى كل مكان وفى كل زمان. والنظرة الحتمية فيها أن المستقبل مبرمج - على نحو كامل لا يتغير - عند لحظة خلق الكون. ترى هل أؤمن أنا بذلك؟ ليس تماماً.

إلا أن هدف علم القرنين الثامن عشر والتاسع عشر لم يكن يقل عن هذا: إزالة أى فرصة لأن يأخذ الحدث الطبيعى أحدهم على غرة. والعلماء قد وصفوا بنجاح قطاعات واسعة من البرنامج الرئيسى لأمنا الطبيعية - قوانين تفسر الكهرباء، والمغناطيسية، والموجات، والحرارة والضوء والصوت وحركات وتفاعلات الذرات. وبحلول تسعينيات القرن التاسع عشر كان كل عالم ممارس للعلم هو واقعياً صاحب نظرة حتمية للعالم. وكان علم النفس البازغ يحتوى على مقدمات مماثلة فيها أن كل فعل بشرى وكل فكر بشرى قد بُرمجا بالتفاعل بين الفرد وبيئته. فالواقع كله، من الذرات حتى النجوم،

يتحرك ويتفاعل داخل ساعة كونية. ولا يستثنى من ذلك البشر الذين يتكونون أساسًا من ذرات. ولنلاحظ أنه لا يوجد سوى مجال صغير للإرادة الحرة في هذه النظرة للعالم.

والحقيقة أنه بحلول عام ١٨٩٠ كان المرء "يستطيع" التنبؤ بالمستقبل، وأن يثبت هذه التنبؤات عن طريق مدى واسع من شتى التجارب المعملية المحكومة. وعلى الرغم من أن هذه التنبؤات لم تكن تصلح للعمل تمامًا في العالم خارج المعمل، إلا أنها في معظمها كانت صالحة للعمل بالحد الكافي لأن تسمح بنشأة مهنة للهندسة أمكنها على نحو مبرر أن تشغل نفسها في حسابات التصميمات. ولم يعد ما يحدث بعد هو أن يبني المهندس أحد الجسور ثم يقف عنده وهو يرقبه في عصبية ليرى إذا كان سينهار (كما حدث لنسبة ٢٥٪ من الكباري التي بُنيت في سبعينيات القرن التاسع عشر)[٦]. وبدلاً من ذلك، أصبح في الإمكان "التنبؤ" بأداء الجسر قبل أن تُرفع تخطيطاته عن طاولة الرسم. وأمكن اجتذاب استثمارات هائلة من رأس المال بناء على قوة التنبؤات التي تقول مثلاً إنه يمكن إنارة مدينة بأن تستمد الطاقة من شلال محلي. وأصبحت تنبؤية العلم أساس كل الهندسة الحديثة .

وبالتالي لو أن العلم أمكنه أن يزيد تقدمه قليلاً فحسب، وأن يصنع القليل من مزيد من الصلات بين القوانين الطبيعية التي اكتشفها بالفعل، وأن يفسر القليل من مزيد من متغيرات عنيدة في الطبيعة، لو أمكنه ذلك فإن الطبيعة لن تكون لها أبدًا القدرة على أن تمكر بنا بأي نوع من مفاجآت كريهة. وسوف يمكن تفادي الكوارث بالتنبؤ والاستجابة المبنيين على أساس تكنولوجي. وسوف نعرف دائمًا ماذا على وشك أن يحدث ونستخدم هذا لفائدة البشر. (ولنغفل هنا التناقض الواضح بين أن توجد حتمية وأن يُتخذ قرار، ولنترك هذا ليناقشه الفلاسفة وعلماء النفس). هكذا كان الوضع في تسعينيات القرن التاسع عشر: العلماء ملتزمون بنظرة حتمية لنظام الكون، وواثقون من أنهم قد اقتربوا جدًا من إتمام الكشف عن آخر حلقات الوصل القليلة المفتقدة .

ثم وفد في عام ١٨٩٦ اكتشاف أنطوان بيكريل للنشاط الإشعاعي، وهو ظاهرة واضحة في لا حتميتها، وتبع ذلك في العقود القليلة التالية اكتشافات لصنوف كاملة

لأنواع شتى من عمليات أساسية أخرى هى بما يساوى ذلك ذات نتائج لا يمكن التنبؤ بها. فى إمكاننا أن نتحدث إحصائيًا عن متوسط مدى عمر حالات الطاقة عند الذرات، أو عمر النصف للنظائر المشعة، ولكننا ببساطة لا نستطيع التنبؤ بوقت (وأحيانًا بمكان) وقوع حدث معين تحت ذرى(*). وأحس بعضهم بأن هذا يتضمن وجود متغيرات أخرى خفية تفوت حتى الآن على العلماء، بل إن ألبرت أينشتين العظيم قد أعلن فى عام ١٩٢٧ فى مؤتمر علمى فى بروكسل قال فيه "إننى مقتنع بأنه لا يلعب النرد" وهاء الضمير هى إشارة أينشتين بالمجاز إلى خالق الكون (٧).

وفى هذه الأثناء أجرى آخرون تجارب طرحت نتائجها بوضوح أن الطبيعة على أعلى مستوياتها الأساسية، هى جبلّيًا لا حتمية. وأحيانًا قد "تبدو" الطبيعة بمقاييس البشر للزمان والمكان، على أنها حتمية، وذلك ببساطة بسبب قانون المتوسطات عندما يطبق على عدد كبير من تفاعلات الجسيمات الفردية. وحتى كتابة هذا، فإن لدينا الآن ما يساوى براهين قرن من الزمان، ومن آلاف لا تحصى من التجارب، تطرح أن البحث عن متغيرات جديدة لا يمحو اللاحتمية الجبِلّية فى تفاعلات الجسيمات تحت الذرية. والحقيقة أن كل هذه التجارب قد أدت إلى اكتشاف فئات جديدة بأسرها من الظواهر التى تأبى أن تخضع للتنبؤ الحتمى .

أى علاقة يمكن أن تكون بين العمليات اللاحتمية وموضوع الكوارث الطبيعية؟ دعنى أسألك أن نقفز قفزة خيال كبيرة لدقيقة أو دقيقتين وأن نوسع فى ذهننا من نواة ذرة راديوم لتصبح فى حجم الأرض. إن جرمًا كهذا قد يصنع كوكبًا جيداً بصورة كاملة (وإن كانت جاذبيته ستكون بلا شك قوية نوعًا). هيا نضع على هذا الكوكب شكلاً من أشكال الحياة - ليكن مثلاً نوعًا قويًا جداً من النمل صُنع بالهندسة الوراثية. سيكون سؤالى: إلى أى زمن سوف تعيش هذه المستعمرة من النمل حتى تهلك بجائحة ؟

(*) تحت الذرى، مصطلح يقصد به الجسيمات الأصغر من الذرة كالإلكترون، البروتون، والكوارك. (المترجم).

قبل أن تعترض بأن هذا السؤال غبي، دعني ألتمس منك أن تظل معي للحظة، ودعني أوضح أني أستطيع توصيف طبيعية الجانحة: يحدث ذات مساء بدون أى إنذار أن كتلة، تصل إلى ما لا يقل شيئًا عن ٢ من كتلة الكوكب، قد تفجرت فجأة من سطحه وانطلقت في الفضاء. سيحدث للكوكب ارتداد في رجة لا تصدق، ويعيد قلبه توزيع نفسه ليملأ الحفرة، مطلقًا كميات إضافية عظيمة من الطاقة. وعندما تستقر الأمور ثانية في النهاية، سيبدو الكوكب الجديد مختلفًا إلى حد كبير، وتتدمر حياة النمل على سطحه. وتخبرنا القياسات التي أجريت على عينات من أعداد كبيرة من ذرات الراديوم – ٢٢٦ أن نصف هذه الذرات سوف تمر بالعملية التي وصفتها في التو خلال ما يربو على ألف وستمائة سنة. (كتلة المادة التي تنقذف تسمى "جسيم ألفا") ولكنني أطلب منك أن تكون أكثر تحديداً. لأي مدى ستبقى "بالذات" هذه النواة للراديوم التي يسكنها النمل؟

هل تريد المزيد من المعلومات؟ سوف أصف لك القوة (المسماة "بالقوة النووية القوية") التي تمسك بأجزاء النواة معًا. وسوف أصف القوة التنافرية (المسماة "بالقوة الكهربائية الإستاتيكية") المسئولة عن قذف جسيم ألفا. هيا نحفر لأعمق، لنفصل بعض البروتونات والنيوترونات التي في الكوكب ولنكتشف أنها تتكون من جسيمات أصغر. ولكن شيئًا من هذا لن يساعدنا. وأحسن ما يمكن أن نقوله هو هذا: لو كان لدينا مائة من كواكب الراديوم هذه، فإن نحو خمسين منها ستكون ما زالت موجودة بعد ألف وستمائة سنة، في حين أن الخمسين الأخرى تكون قد خبرت كارثة كبرى.

وإذا كان كل ما لدينا هو نواة راديوم واحدة، فإنها ربما تظل باقية بعد مليون سنة، أو أنها قد تفجر رأسها غداً. فليس من طريقة للتنبؤ عن ذرة واحدة لا غير. وكل ما يمكننا التنبؤ به هو احتمالات إحصائية، تمثل الاتجاهات العامة في الطبيعة بالنسبة لأعداد كبيرة من الأحداث عبر مقاييس زمنية كبيرة. ومن المهم أن نلاحظ أن الاحتمالات هنا لا تستخدم كملجأ لأولئك الذين يجهلون التفاصيل الأدق؛ والأولى هو الرأي بأن عمليات الطبيعة نفسها هي جبليًا إحصائية عند مستوياتها الأكثر أساسية. وقد اعترض أينشتين على هذه الفكرة. ومعظم العلماء الآن يوافقون عليها. ويوجد الآن

براهين متراكمة شديدة الإقناع تدل على أن حتمية الطبيعة هى فى أحسن حالاتها حتمية إحصائية.

ولكن هل يمكن حقًا وجود أى علاقة بين فيزياء الذرة والظواهر الكبيرة المقاس كالأعاصير أو الزلازل أو الأوبئة؟ نعم يمكن وجود علاقة، وهى موجود فعلاً بهذا المعنى: كل الأحداث الفيزيائية والبيولوجية هى تركبات من عدد لا يحصى من بلايين التفاعلات تحت الميكروسكوبية. ونتيجة كل واحد من هذه التفاعلات الكامنة، فيها دائمًا درجة ما جبِلّية من اللاحتمية، وينتج بسبب ذلك أن كل الظواهر المركبة الكبيرة المقاس ستكون لها أيضًا نتائج مشوشة. مشوشة بأى طريقة؟ يمكن الإجابة عن هذا السؤال بالنسبة لصنوف شتى من التجارب المعينة المحكومة فى المعمل، أما بالنسبة للحالة العامة لظاهرة طبيعية كبيرة المقاس، فإننا بكل أسف مازلنا من الجاهلين إزاءها .

وإذا حفرنا لأعمق فى أسرار الطبيعة، سنجد أن الكون بكل مقاييس الحجم، أقل اتصافًا بالحتمية بما يقل كثيراً عما كان العلماء يعتقدونه من قبل. وطرائق التناول الحتمية الأقدم لم تنجح إلا أنها عملت كمفتاح لتلك الأحداث التى تحدث نتائجها بما يقارب نسبة احتمال من ١٠٠ - كحركة الكواكب مثلاً. وما كان نيوتن لينجز أبداً إسهاماته العلمية المهمة لو أنه بدأ بدراسة الزلازل، أو عواصف الرياح، أو الوباء الذى أغلق جامعته فى عام ١٦٦٦ .

الوضع الفلسفي الذى نجد فيه أن الأحداث الفردية قد تكون من حيث المبدأ غير قابلة للتنبؤ، بينما تكون المتوسطات وغيرها من المؤشرات الإحصائية عن الأعداد الكبيرة من الأحداث المشابهة مما يقبل التنبؤ، هذا الوضع يشار إليه بأنه "حتمية إحصائية". والنقطة المهمة هنا هى أن صنع التنبؤات مازال ممكنًا، بشرط أن ننوى الاستقرار على التنبؤات الإحصائية. أما بالنسبة "للسبب والنتيجة" فإن علينا أن نسقط هذه الفكرة تمامًا من ذهننا قبل أن نمر من خلال البوابة إلى التحليل الإحصائى.

تشظى العلم الحديث

كما رأينا، فإن العلم قد نشأ عن وجود ضرورات اجتماعية فى حضارات ما قبل التاريخ والحضارات القديمة، تحتاج للتنبؤ والتخطيط للمستقبل. ويبدو أن معظم المجتمعات القديمة التى تولد عنها علم قد جعلته كل منها فى النهاية، وعلى نحو مستقل، مؤسساً فى مؤسسة من الكهنوت. وهذا التأسيس الذى يضع مكان البحث العلمى الأولى عقيدة مقدسة رسميًا يؤكد بذلك فى الواقع على أن هناك ركوداً سيحدث، وعندما نصل إلى النقطة التى نعتقد فيها أننا لدينا كل الإجابات، لا يمكن أن يوجد أى علم .

على أنه قد سُمح للعلم فى بلاد الإغريق القديمة بأن يكون له موقعه ضمن مجال الأنشطة الثقافية للفلاسفة. وبعضهم مثل فيثاغورس (وفيما بعد إيراتوثينيس وأرشميدس) قد رأوا أن من الطبيعى تمامًا عمل قياسات محكومة وإجراء تجارب لاختبار تخميناتهم. وبعضهم الآخر، مثل أرسطو، رأوا أن العقل وحده هو أداة البحث المناسبة. على أنه بالنسبة لكل هؤلاء الرجال (نعم كلهم كانوا رجالاً فيما عدا هيباتيا) فإن أى سؤال عن أى شىء يعد مباراة علم عادلة. فالعلم لم يكن مجرد جمع للحقائق أو النتائج، وإنما هو عملية "تنقيب". وكما رأينا فإن كتابات أرسطو أصبحت متأسسة فى مؤسسة من نوع مختلف من الكهنوت، وتبع ذلك الركود المحتوم. ولم يحدث إلا مع تنوير سنوات القرن الثامن عشر أن نشأ مناخ اجتماعى يرعى الاهتمام المنتشر بالبحث العلمى.

لاحظ المفكرون أن بعض فئات المسائل العلمية تذعن لطريقة معالجة إمبريقية (أى تجريبية) باستخدام المناهج التقليدية لاختبار الفروض. وهذه المسائل التى تناقش الآن فى كتب عن الفلك، والفيزياء والكيمياء، كان يقال إنها "تؤلف" الفلسفة الطبيعية. أما الأنواع الأخرى من المسائل فكان مما يفضل أن يتم فحصها عن طريق المشاهدات الميدانية التفصيلية للبيئات الطبيعية وبتحليل الأوصاف التى كتبها من ارتادوا الأماكن البعيدة بُعداً قصيًا. وهذه المسائل تقع تحت عنوان "التاريخ الطبيعى" الذى يتضمن ما نخصصه الآن على أنه البيولوجيا، والجيولوجيا، والجغرافيا، هى ومجالاتها الفرعية.

وبحلول منتصف القرن التاسع عشر، نتج عن نجاحات الفلسفة الطبيعية والتاريخ الطبيعي ما هو كثير جداً من المشاهدات والفروض والقوانين والنظريات مما لا يمكن لعقل بشري واحد أن يستوعبه كله في مدى حياته ثم يتبقى لديه أي وقت ليفكر في الطعام. وأصبح لا مفر من أن تتفكك ميادين الفلسفة الطبيعية والتاريخ الطبيعي في شظايا لتصبح علومًا ، ثم علومًا فرعية. وتطلب الآن إعلانات الوظائف العلمية متخصصين من نوع "فيزيائي منظر للمادة المكثفة" أو "متخصص في علم المحيطات الفيزيائي، صوتيات لا خطية". ولم يعد هناك صاحب عمل يعتمد على تشغيل عالم شامل. ومع هذه التشظية لمجالات جد كثيرة ما الذي يمكن أن يعرفه فيما يُحتمل شخص ما، مازال ببساطة يسمي نفسه "عالمًا" في تسعينيات القرن العشرين؟

إحدى النتائج التي ترتبت على نجاح العلم الحديث أن المعرفة البشرية أصبحت تتزايد بمتوالية هندسية بمعدل يفوق كثيراً الزيادات المتواضعة في مدة حياة العالم النمطي. ونحن نتمثل الأفكار الجديدة بمتوالية حسابية في الزمان ، بمعنى أننا عندما نستغرق أسبوعًا لاستيعاب فكرة جديدة، فإننا (في المتوسط) سنستغرق أسبوعين لفكرتين جديدتين وثلاثة أسابيع لثلاث أفكار. وتظهر في الوقت نفسه مئات الأفكار الجديدة مطبوعة في كل يوم، ويستمر العدد في التزايد. وكلما أنفقنا يومًا في التعلم، نعرف الأقل مما هو موجود لنعرفه. والطريقة الوحيدة لإنجاز أي تقدم هي التخصص. ولكن عندما يتخصص كل واحد، فإن العلوم تتشظى إلى حشد من العلوم الفرعية، التي يكون لكل منها لهجته الخاصة. ويطرح هذا تحديات لها قدرها لمن يود أن يفحص موضوعًا يقطع طريقه عبر حدود العديد من فروع العلم الراسخة.

وتشظي العلوم له نتيجة إضافية تعسة: فهناك سوء فهم ينتشر انتشاراً واسعًا عن أن العلم يدور بشأن "الحقائق" بدلاً من أنه يدور بشأن المعالجة. فعندما يستخدم أحدهم كلمة "جيولوجيا" مثلاً، يصبح لدى معظمنا صورة ذهنية عن الصخور. وربما نفكر في صفوف العينات المعدنية التي رأيناها في المتاحف أو التشكيلات الجيولوجية التي لاحظناها في رحلاتنا الخاصة بنا. أما ما "لا" يقفز في التو إلى الذهن فهو

التكنيك المعملى الذى قد يستخدمه الجيولوجى ليبحث أمر عمر عينة من النشف[*]، أو التكنيك التحليلى الذى قد تستخدمه جيولوجية لتسأل أمنا الطبيعة عما يحتمل من وجود خط صدع جيولوجي مخبوء عميقًا داخل الأرض. والجمهور غير المتخصص، ونظم القضاء، ومخططو الكوارث، كلهم يتحولون نحو العلماء للحصول على إجابات، وإذا لم يتوفر لهم الإجابات "الصحيحة" فسيغلب أنهم سينظرون إلى العلماء على أنهم فاشلون. أما بالنسبة للعالِم، فإن "نقص" الإجابات هو "مبرر الوجود" للمزيد من البحث العلمي. فالأسئلة، وليست الإجابات، هى ما يثير ويحشد العقل العلمي.

إلا أن العلماء المحدثين يجب أيضًا أن يتغلبوا على تشظيتهم ثقافيًا هم أنفسهم. هيا ننظر بإيجاز أمر العلوم العلمية الرئيسية لنرى كيف نشأت الحدود لأول مرة [٨]. "علم الفلك" كان أقدم وأبسط علم حقيقي. وهو مازال أكثر العلوم شمولاً، من حيث إنه يشمل الكون كله. وعلم الفلك كان أصلاً يتعامل مع متغيرين فحسب: الموقع والزمان، وذلك مع آلاف معدودة من أجرام السماء التى يمكن رصدها. وعلى الرغم من أن علم الفلك القديم قد نجح فى صنع تنبؤات دقيقة غير عادية عن معظم الأحداث التى من خارج الأرض، إلا أنه قد ترك ثغرة من الجهل فيما يتعلق بالأحداث التى تقع قريبًا من الأرض أو عليها.

"الفيزياء" يمكن أن ننظر لها على أنها أكثر العلوم اتصافًا بأنها أساسية، من حيث إنها تركز انتباهها على أحداث يمكن توصيفها من خلال توليف سبعة متغيرات فحسب (الموقع، والزمان، والكتلة، والتيار الكهربى، والحرارة، وكثافة الإضاءة، ووحدة المادة الذرية). على أن عدد الأجسام القابلة للرصد يصل بالفعل إلى ما لا نهاية. والفيزياء تنجح نجاحًا جيدًا جدًا عندما يكون عدد الأجسام المتفاعلة ثلاثة أو أقل. ولكن لو وضعنا أربعة جسيمات معًا فإن التنبؤات تبدأ فى التشوش. وميكانيكا الكم تفسر بما يكفى وجود ذرات الهيدروجين والهيليوم، ولكنها تفشل فى التنبؤ على نحو مضبوط ببنية الليثيوم (العنصر رقم ٣) وخواصه الكيميائية هو وكل العناصر الأعلى منه.

(*) النشف – الخفاف – الخرفش : صخر بركانى خفيف ذو ثقوب تملؤها الغازات والهواء. (المترجم).

"الكيمياء" تثب لتتخطى مشكلة التنبؤ بوجود أنواع بعينها من الذرات وتبدأ بأن تتقبل وجود ١٠٧ عنصر هي ونظائرها. وبالاعتماد على تلك القوانين من الفيزياء التي يبدو أنها مفيدة فإن الكيمياء تنشئ النظريات عن طريق اتحاد الذرات في أشكال جزيئية مركبة. وعلى الرغم من أن الكيمياء يمكنها التنبؤ بنتائج مدى واسع من التفاعلات، بما في ذلك بعض التفاعلات التي تدفع عمليات الحياة، إلا أن هذا الفرع العلمي يفشل في التنبؤ بالحياة نفسها. وتظل طبيعة الحياة ثغرة من الجهل فيما بين ميدان الكيمياء والبيولوجيا .

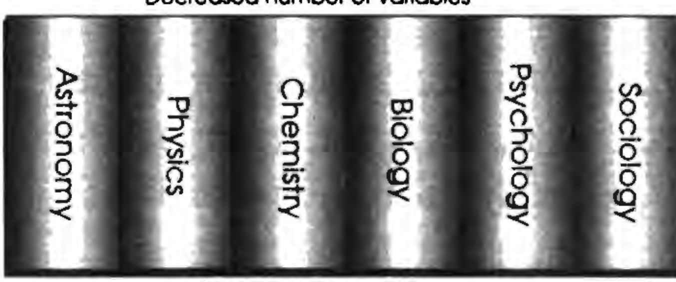
"البيولوجيا" تفترض أن الحياة مسلّمة. والحياة لا تظهر تلقائيًا؛ إنها تنشأ فقط من حياة قديمة، وهناك الكثير من الحياة القديمة فوق الكوكب الأرضي. وبالتالي فإن البيولوجيا تتعامل مع عدد كبير جدًا من المتغيرات، ومعظم نظرياتها تؤدي إلى تنبؤات إحصائية مشوشة نسبيًا. وعلى الرغم من أن هذه التنبؤات مشوشة إلا أنها مهمة أهمية هائلة في مجالات تتراوح من الطب حتى الزراعة. على أنه ما من نظرية بيولوجية تقترب أدنى اقتراب من تفسير العقل الواعي .

"علم النفس" يفترض أن البشر (وفيما يحتمل معظم الحيوانات الراقية) لديهم استمرارية في العقل والذاكرة، بصرف النظر عن حقيقة أن الذرات والجزيئات المكونة للكائن الحي يحدث باستمرار تبادل بينها وبين البيئة. ومن نقطة البداية هذه، يلتمس علماء النفس أن يفسروا طريقة تفكيرنا، وطريقة تعلمنا، وطريقة حبنا. وعدد المتغيرات الممكنة كبير جدًا بحيث يتحدى أي تصنيف، والنظريات التنبؤية هي بالضرورة مقيدة تمامًا من حيث عموميتها. والتحليل الوحيد الممكن كميًا هو التحليل الإحصائي. وتوفر النظرية النفسية أساسًا مفعمًا بالمغزى بالنسبة لصنوف شتى واسعة من الأنشطة البشرية، بدءًا من التعليم حتى لعب البيسبول ثم التخطيط للكوارث. على أن نظريات علم النفس لا تفسر كيف نشأت وتطورت المؤسسات الاجتماعية.

"علم الاجتماع" يتعامل مع التفاعلات بين المجموعات بدلاً من الأفراد، ومع أنماط اجتماعية وثقافية عريضة تتخذ لنفسها حياة خاصة بها تتجاوز حياة الأعضاء الأفراد في جماعة. والنظرية الاجتماعية تلتمس التنبؤ باتجاهات اجتماعية واسعة بدلاً من

السلوك الفردى. وهذه التنبؤات قد تتأسس على الإحصائيات، أو قد تبدأ بمشاهدات وصفية لتنتهى باستنتاجات وصفية ، ولما كان عدد ما يمكن ملاحظته كبيراً بما لا يصدق، فإن التنبؤات المؤسسة على النظرية الاجتماعية تكون جد ضعيفة ويصعب تفنيدها. ومع ذلك فإن نتائج علماء الاجتماع لها علاقتها البارزة بالنسبة لمن يعملون فى ميادين مثل السياسة العامة ومشاريع الأعمال .

مما سبق نرى أن فواصل التقسيم بين الفروع العلمية تتطابق مع أعظم ثغرات جهلنا: فالفيزياء لا تستطيع التنبؤ بالخواص الكيميائية، والكيمياء لا تستطيع التنبؤ بالحياة، والبيولوجيا لا يمكنها التنبؤ بالوعى، وعلم النفس لا يمكنه التنبؤ بتطور المؤسسات الاجتماعية. وبالإضافة، ينبغى أن نلاحظ (شكل ٢، ١) أننا عندما نطبق البحث العلمى على منظومات تتزايد تعقدا (النظم الاجتماعية مثلاً) ، فإننا نضحى



شكل (٢ . ١) تشظى العلوم، فواصل التقسيم تناظر أعظم ثغرات جهلنا

بالعمومية ودقة التنبؤ. وعلى العكس، فإننا عندما ننتقل إلى العلوم التى تتعامل مع متغيرات أقل عدداً ، فإننا نستطيع صنع تنبؤات أكثر دقة، وتستطيع النظريات العلمية المتعلقة بالأمر أن تتعامل مع فئات ظواهر أكثر عمومية.

من الواضح أني قد تركت الكثير خارج هذا التخطيط البسيط. وبعض الأبحاث الحديثة في علم الفلك تنتمي على وجه صحيح لما بين الكيمياء والبيولوجيا بمقياس التراكب وليس على الجانب من المجموعة. والجيولوجيا التي لم أثبتها في القائمة، تعتمد في المقام الأول على النماذج الأساسية للفيزياء ولكنها تستقصي منظومات أكثر تعقداً من نواحٍ كثيرة عن المنظومات التي ينظر الكيماويون في أمرها. ويصدق الشيء نفسه على علم الأرصاد الجوية. ومع ذلك فإن هذه الأمثلة مازالت تدعم وجهة نظري: وهي أن البحث العلمي في المنظومات التي تتزايد تركبًا ينتج عنه نظريات تتناقص فيها العموميات ومصداقية التنبؤ. وباستخدام معادلتين فحسب يمكن للواحد منا أن يتنبأ في الواقع بموقع أي جرم في المنظومة الشمسية في أي يوم وساعة تهمنا على مدى قرون من المستقبل. أما لو استخدمنا حتى مائة معادلة، فلن نستطيع أن نتنبأ بمعدل انزلاق صدع سان إندرياس في كاليفورنيا يوم السبت القادم، أو درجات حرارة وقت الظهيرة في توبيكا بعد أربعة أيام من الآن. وأصعب تحديات العلم تكون عند محاولة فهم النظم المركبة.

أين يضع المرء التاريخ في هذا المخطط؟ يبدو أن الكثير، ولعله الأغلب، من البحث التاريخي، هو مما يحسن أن يصنف تحت عنوان الإنسانيات، وليس تحت العلوم الاجتماعية. فالوصف الثقافي لكارثة، أو حتى توثيق فترة كاملة من ماضي أحد البلاد لا يكون علمًا إلا إذا طرح فرضًا يمكن اختباره وتعميمه في النهاية. ومعظم البحث التاريخي يكون لصيقًا بالموضوع ولا يتكهن بالمستقبل. وهذا لا يجعل الجهد الذي يبذل هكذا أقل نبالة عن البحث العلمي، ولكنه فحسب يختلف عنه. وكما أبديت حجتي من قبل، فإن أي دراسة علمية للظواهر الطبيعية المشتتة التي لا تقبل التكرار، ما كان يمكن إجراؤها إلا بناء على ما ندين به للمؤرخين من دَيْن عظيم.

الحقيقة في العلوم

يتفق معظم العلماء الآن على أن الحقائق لا تكون أبدًا مما يقبل المعرفة بالمعنى المطلق أو غير المشروط. ويمكن للبحث العلمي أن يثبت أن نظرية شخص ما هي نظرية

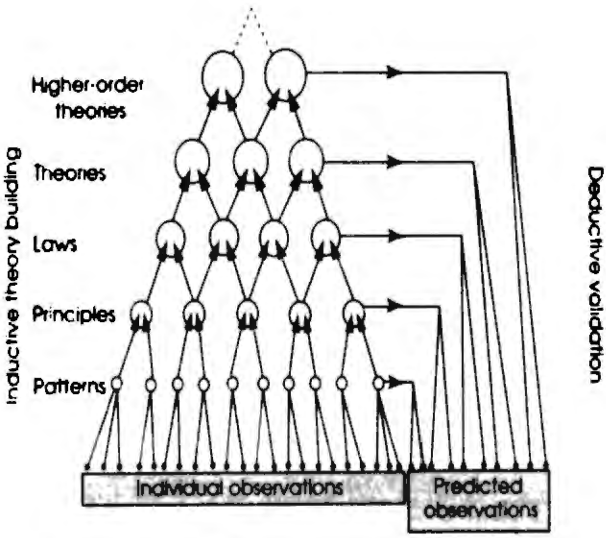
"زائفة"، ولكن البحث العلمى لا يمكنه قط أن يثبت أن أى نظرية أو حتى أى مقدمة بسيطة من المشاهدة هى حقيقة غير مشروطة. والمقدمات الحقيقية الوحيدة التى يكون العلم قادراً على إنشائها هى تلك المقدمات التى تكون مؤقتة و/أو مقيدة فى المكان والزمان .

هيا نفكر فى حقيقة علمية، بل حتى أتفه هذه الحقائق، ولنحاول ذكرها غير مشروطة. السماء زرقاء؟ لا، إنها سوداء على الأقل لنصف الوقت، وأحياناً تكون فى أجزاء منها حمراء أو برتقالية. ما يصعد عالياً يجب أن يهبط نازلاً؟ لا، هناك مجسات فضاء لم تعد لنا قط، والهليوم يتخذ دائماً رحلته فى اتجاه واحد من كوكبنا إلى الفضاء. البنسلين يقتل البكتريا؟ إنه يقتل بعض البكتريا، وليس كلها. ولو واصلنا طريقنا بدءاً من هذه المقولات البسيطة حتى إنشاء النظريات الكاملة، سنكون أكثر عرضة للوقوع فى التناقض .

فى أوائل القرن العشرين، كان يسيطر على التفكير العلمى فلسفة "المنطق الوضعى" التى تؤكد على أنه يمكن حقاً الوصول إلى الحقيقة بواسطة تكرار مضاعفة التجريب والمشاهدة. وفى أواخر الثلاثينيات ظهر تحد خطير لهذا الرأى ، وكان ذلك أساساً على يد الفيلسوف العلمى النمسوى المولد كارل بوبر(٩). وفند بوبر أن البحث يمكن اختزاله إلى منهج منطقى تقليدى (كما طرح الوضعيون). فالحدس الخلاق يكون دائماً عنصراً جوهرياً فى بناء النظرية العلمية، وهذا يجعل النظريات العلمية كلها توضع على أسس ذاتية، حيث تكون مستهدفة من داخلها، ولا يوجد عالم تنظير يمكنه تحمل ما سيكلفه اعتداده بنفسه عندما يزعم أنه قد حصن نظريته ضد كل التجارب المحتملة فى المستقبل التى ربما تدحض هذه النظرية. إن عالم التجريب يستطيع دائماً إنشاء اختبارات إمبريقية تفوق الأساس الاختبارى لدى أى إنسان بعينه يطرح نظرية علمية.

يعرف شكل (٢،٢) ما نتج لدينا من رأى عن العملية العلمية. ونجد عند قاعدة الهرم آلافاً من الأحداث الفردية التى نلاحظها ونخبرها خلال تفاعلاتنا

البشـرية مع الطـبيـعة. ومن هـذا الخليـط من الأبحـاث، نقـوم نـحـن بالتمـاس التعـرف على الأنمـاط التى تعاود الحدوث وتـتيح لنا أن نعـمم بشـأن فئـات معينة من الظواهر (مثلاً، هبوط مقياس الضـغط الجوى يكون عـادة نذيراً باقتـراب عاصـفة). ثم نحـاول



شكل (٢ . ٢) هرم البحث العلمى. بناء النظرية عملية "استقرائية" (إدراك العام من استنباطية الخاص)، بينما التحقق من المصداقية عملية استنباطية (التنبؤ بالخاص من العام)

بعدها أن نجمع الأنماط المتماثلة معًا لننشئ مبدأ علميًا أكثر عمومية (مثلاً، السوائل والغازات تنحو لأن تتحرك من مناطق الضغط العالى إلى مناطق الضغط المنخفض، وهذا هو "السبب" فى أن انخفاض مقياس الضغط الجوى ينذر باقتراب عاصفة). ويمكن صياغة مبادئ أخرى عديدة بطريقة مشابهة لتوصيف خصائص أخرى للسوائل والغازات، وهذه بدورها يمكن توليفها فى نظرية أكثر شمولاً عن السوائل، بما يحركنا صعوداً إلى مستوى آخر فى الهرم. وهذه النظرية يمكن توليفها بدورها مع نظريات عن ظواهر أخرى لإنشاء نظرية بمرتبة أعلى (مثلاً، كيف يتفاعل الجو مع البراكين)، وهلم جراً. ويفترض أنه فى مكان ما عند القمة سيكون هناك فى يوم ما نظرية واحدة لكل شىء.

وإذن، فإن العملية تبدأ بالخاص وتتحرك إلى ما هو أعم. ولا توجد مجموعة واضحة من الخطوات التى نتبعها لإنجاز ذلك، فالعملية تتطلب بصيرة خلاقة غير ملموسة. هيا ننظر للحظة أمر الأحجية التالية التى من الواضح أنها مصطنعة (إلا أنها بسيطة على نحو مقصود):

يكشف أحد الأثريين عن جدار فى قرية مهجورة حيث توجد براهين على أن السكان كانوا يتكلمون الإنجليزية. وقد نحت بإزميل على هذا الجدار حروف بالترتيب التالى .(O T T F F S S E N) ومن المحتمل أن التتابع ظل مستمراً فى الأصل، ولكن بقية الجدار قد ذهبت الآن، هل يوجد هنا نمط ما؟ وإن وجد فماذا تكون الحروف الثلاثة التالية؟

نعم، إن لدىّ إجابة : الحروف ستكون T E T ولكن كيف أبرهن على صحة ما أقول؟ لو أنك قلت N E S (بزعم أن باقى النمط يمضى عكسياً)، كيف ستبرهن على صحة قولك؟ من الواضح أنه لا توجد طريقة لإثبات أى من تخميناتنا هو الحقيقة المطلقة وإلا فسنتبادل فحسب الصراخ بإجاباتنا جيئة وذهاباً كل منا للآخر.

وبالتالى فإنى أتقدم لخطوة أبعد، وأفسر كيف توصلت إلى T E T . لو قمت بالعد من واحد إلى تسعة، وسجلت كتابة الحرف الأول من اسم كل رقم فسوف أصل إلى O (one)، T (two)، T (three)، F (four)، وهلم جراً. وحسب هذا التخطيط، يكون واضحاً أن حروف العاشر والأحد عشر والاثنى عشر هى T (ten)، E (eleven) T (twelve)، ولكن كيف توصلت إلى ذلك؟ ما هو "المنهج العلمى" الذى استخدمته؟ ليس هناك أى من ذلك أبداً. لقد أخذت فى النظر إلى الأنماط مرة بعد الأخرى فى حيرة، ثم ذهبت لأداء أمر آخر، ثم حدث بعد ذلك بساعات عديدة وأنا لا أفكر واعياً بالأمر، أن طقطق فى رأسى شىء ما، ووقع لى أن أجرب أول حروف الأعداد. وهذه هى النقطة المهمة عند كارل بوبر. فعملية بناء النظرية عملية استقرائية، ولكنها ليست منطقية على نحو تقليدى، ولا توجد أى طريقة يمكننى بها أن أخطط خطوات حلّى بحيث يمكنك أن تحلل نقدياً كل خطوة. فحلّى كان من الضرورى له القيام بوثبة خلاقة فى ثقة.

مازلت لم أبرهن على أن حلي صحيح، ومازال من الممكن أن يكون حلك N E S هو الإجابة.

وما يحتاج كلانا لأن نفعله هو أن نجد البرهان على الحرف التالي. هيا نشمر أكمامنا عاليًا لنبدأ في حفر الأرض عند نهاية الجدار.

ولحسن الحظ فقد عثرنا على الحجر التالي، وهو يتداخل تمامًا مع الجزء السليم من الجدار، وعليه حرف T كما تنبأت أنا تمامًا. هل يثبت ذلك أنك على خطأ؟ لك أن تراهن على ذلك. هل ثبت أني على صواب؟ لا، فكل ما فعلناه هو أننا دعمنا نظريتي وإذا حفرنا لأكثر، ووجدنا أن الحجر المتداخل التالي عليه Q، سنذهب بكل نظريتي المدهشة إلى البالوعة. فنمط الحروف مازال من الممكن أن يكون شيئًا آخر (ربما أكثر عمقًا)، وتظل هناك الإمكانية بأن الأمر ليس فيه نمط مطلق وإنما هو فحسب بغبغة. والحقيقة أنه لا يوجد أي قدر من الحفر يمكن أبدًا أن يثبت أن نظريتي حقيقية حقيقة مطلقة، وإنما قد يمكنه بلا ريب أن يثبت أني على خطأ .

وهذه إحدى النقاط الرئيسية عند كارل بوبر. إن الواحد منا لا يستطيع أبدًا البرهنة نهائيًا على نظرية علمية، وكل ما يمكن للواحد منا أن يفعله على وجه التأكيد هو أن يفندها. والحقيقة أنك عندما تقترح فكرة ولا تطرح كيف يمكن لي أن أفندها، فإن مقولتك لا يمكن أن تتأهل كنظرية علمية. ولعلها تكون فلسفة أو عقيدة أو وجهة نظر أخرى عن العالم، بل إنها قد تكون أيضًا لها قيمتها ومصداقيتها، ولكنها بدون وسيلة لتكذيبها لا تكون علمًا، ولن يأخذها أي عالم مأخذًا جديًا. "وكل نظرية علمية يجب أن تتضمن من داخلها الوسيلة التي يمكن بها تفنيدها".

والآن قد يبدو هذا كبرنامج جيد لعدم التوصل لأي مكان: نخلق النظريات بحرص هائل ولكننا ندمرها بتلذذ شديد. إلا أن ما ينتج عن ذلك، هو ضمان أن أي نظرية نصف مطبوخة سيتم محوها سريعًا قبل أن يقوم علماء آخرون بزيادة البناء عليها بأكثر مما ينبغي لها. وما كان للعلم قط بدون الممارسة القاسية لمحاولة تفنيد كل نظرية تطرح مجددًا، أن يتجاوز ما في كتابات أرسطو من ضحالات فكرية. إن المكون الجوهري الذي لم يوفره أرسطو هو مطلب التنبؤ الاستنباطي، وإذا نظرنا ثانية إلى

الشكل (٢،٢) سنرى أننا عند كل مستوى من الهرم يجب أن نستخدم نظريتنا المقترحة (أو مبدأنا) للتنبؤ بنتائج الأحداث التى لم تلاحظ بعد (والتى بالتالى لا يمكن فيما يُحتمل أن تكون جزءًا من مجموعة الأحداث التى شكلت الأساس الأصلى للنظرية). ونحن بعد ذلك نطالب بأن تكون التنبؤات النظرية متسقة مع مشاهداتنا، عندما تتكشف هذه الأحداث الجديدة. وإذا فشلت نظرية إزاء هذا الاختبار الأساسى من تحقيق الصدق إمبريقيًا، يكون من الواجب نبذها فورًا (أو على الأقل تعديلها). ومن الناحية الأخرى، إذا حدث أن تحققت تنبؤات النظرية واقعيًا، فإننا نسمح للنظرية بأن تظل قائمة حتى الاختبار الإمبريقى التالى.

إحدى النتائج الضرورية لهذا التخطيط هى أنه لا توجد أى نظرية يمكنها أبدًا أن تكون كاملة، وبالتالى فإنه لا توجد نظرية يمكن أن تكون حقيقية حقيقة مطلقة، وذلك لأننا "لا نستطيع بأى احتمال أن نلاحظ الكون كله طوال الوقت". وستكون هناك دائمًا أحداث وظواهر لا نعرف شيئًا عنها، ولا تنصب عليها نظريتنا. وقد ينظر بعض القراء إلى هذا الموقف بتشاؤم وإحباط، ولكنه بالنسبة للعالم أمر رائع. فهو يطرح أنه سيكون هناك دائمًا علم يؤدى، لأبعد ما فى المستقبل.

على أنه بالنسبة لأولئك الذين يتعاملون مع الكوارث الطبيعية فإن هذا يمثل معضلة خطيرة. إذا كانت "الحقيقة" التى تتولد علميًا مشروطة ونسبية ومؤقتة، كيف يمكننا بأى احتمال أن نعتمد على العلم عندما نضع لوائح البناء لمناطق الزلزال، أو ننشئ خطط الإخلاء للمناطق المعرضة للأعاصير، أو نستجيب لتفشى وباء، أو نرسى أساسًا لأسعار التأمين ضد الكوارث؟ إن الإجابة طبعًا هى أنه لا توجد سياسات عامة يمكن بأى حال أن تتوقع ما قد يعرفه العلماء فى المستقبل، وعندما أصاب زلزال كبير مدينة كوب فى اليابان فى ١٧ يناير، ١٩٩٥، فقد دمر تقريبًا خمسين ألف بناية وأزهق حياة ما يزيد عن خمسة آلاف فرد[١٠] . على أن معظم الإخفاقات الإنشائية كانت فى المبانى التى أنشئت قبل ١٩٨٠، وهى السنة التى سنت فيها السلطات لائحة إنشاءات أشد صرامة، كانت بدورها تتأسس على بعض أوجه تقدم علمى تزيد عما فى العقد السابق زيادة صغيرة نسبيًا. وبالنسبة لما حدث من خسائر رهيبة، لن يمكننا بحال أن نلقى اللوم على من أنشئوا لائحة البناء القديمة، ولا على علماء الخمسينيات من قرننا

الذين قدموا النصح للمهندسين وصناع السياسات العامة فى ذلك الزمن المبكر. إن الزمان يمر، وإذا كنا حريصين، فسوف نتعلم غالبًا. وزلزال عام ١٩٩٥ نفسه وفر للعلماء حدثًا لتقييم صدق النظريات الجارية التى تربط الديناميات الإنشائية بنشاط الزلازل.

والبيانات عن كوب سوف يستمر تحليلها لسنين كثيرة، ولكننا كنتيجة لذلك سنكون أكثر حذقًا طوال العقود التالية. وفى يومٍ ما، فإن هذه المعرفة الجديدة، وإن تكن مازالت غير كاملة، سوف تنفذ إلى حلبة صنع السياسة العامة حيث سينتج عنها ما هو أفضل من اللوائح وخطط الكوارث، الأمر الذى سينقذ حياة الكثيرين الذين لم يصلوا بعد إلى كوكبنا. وسوف ننظر فى الفصل التالى بتفصيل أكثر أمر الاعتماد المتبادل بين علم الكوارث والهندسة الإنشائية.

الهوامش

هناك بعض كتب نموذجية تعيد صياغة معادلات نيوتن بلغة ورموز أكثر جدة، وهي الكتب التالية:

(١) G.R.Fowles, Analytical mechanics, 4th ed. (Philadelphia: Saunders, 1986); A. Pytel & J. Kiusalaas, Engineering mechanics: Statics And dynamics (Glenview, IL: HarperCollins, 1994).

(٢) Isaac Newton. Philosophiae naturalis principia mathematica (Mathematical principles of Natural philosophy) (1687; reprint, Berkeley And Los Angeles: University Of California Press, 1962).

(٣) كان الفيلسوف الفرنسي فولتير منزعجاً بالذات من هذه القضية، انظر تعليقاتي في الفصل الأول.

(٤) ظهرت الآلات الوترية على نحو مستقل في حضارات كثيرة مختلفة وكان ذلك كنتيجة طبيعية لاستخدام قوس الصيد (الذي يعطي "رنيناً" مميزاً عند إطلاق أحد الأسهم). وتجربة فيثاغورس أعيد إنشاؤها على نحو لطيف في كتاب:

J.Bronowski, The ascent of man (Boston: Little, Brown, 1976), 155 - 7.

(٥) عين أرسطو أربعة أنواع من الأسباب، لا يهمنا منها هنا سوى العلة "الفاعلة". لمعرفة نظام أرسطو المنطقي الأصلي، وكذلك كل كتاباته الأخرى انظر:

The complete works of Aristotle: The revised Oxford translation: ed. J. Barnes 2 vols. (Princeton: Princeton University Press, 1984).

(٦) الزعم بأن ٢٥٪ من الجسور التي بنيت في الولايات المتحدة في سبعينيات القرن التاسع عشر قد انهارت، زعم قد تكرر في مصادر عديدة وعورض في مصادر عديدة. ولما لم يكن لدي ما أضيفه لهذا الجدل فسوف أتجنبه هنا. وأنا قد ذكرت هذا الزعم لأبين أن ما يجري من توقع المجتمع لعصمة المهندسين إنما هو أمر قد نشأ حديثاً إلى حد ما، وأن المهندسين من خلال تحسنهم التاريخي في معدل نجاحهم قد كوفئوا بتزايد الضغوط الاجتماعية على أدائهم. واليوم لا يمكن للمهندسين أن يتحملوا تكلفة أن يكونوا جاهلين بآخر التطورات العلمية .

(٧) D.J. Kevles, The physicists: The history of a scientific community in modern America (New York: Knopf/Random House, 1977).

(٨) التخطيط الأساسي الذي أصفه هنا قد اقترحه لأول مرة الفيلسوف الفرنسي أوجست كونت في سنة ١٨٤٢ في كتابه: Cours de philosophie positive وأنا إذ أتحرر هنا بعض الشيء من القواعد فإن هذا يعكس التطورات التي حدثت في آخر مائة وخمسين سنة ، وكذلك تحيزي الشخصي حيث

أعتقد أن الرياضيات (بما فى ذلك رياضيات كونت) هى بكل تأكيد "ليست" علمًا وإنما هى بدلاً من ذلك فن.

(٩) كارل بوبر ١٩٣٤ فى كتابه الذى يحمل بذور التطور The logic of scientific discovery ويشير فيه إلى فلسفته العلمية على أنها "عقلانية ناقدة". ولدراسة أبحاثه دراسة أحدث. انظر:

J. Horgan, The intellectual warrior, Scientific American, Nov. 1992, 38 - 9.

(١٠) زلزال كوب في ١٧ يناير ١٩٩٥، درس دراسة شاملة فى الأدبيات العلمية، وربما تكون المراجع التالية مثار اهتمام القارئ:

Japan's seismic tragedy at Kobe, Nature (1995), 269; Geller, R.J. The role of seismology (correspondence), Nature (1995) 554; C.King N.Koizumi, and Y. Kitagawa. Hydrogeochemical, anomalies and the 1995 Kobe earthquake, Science (1995), 38-9; B.Johnstone, Complacency blamed for Kobe toll, New Scientist, Jan. 28, 1995, 4-5; P.Hadfield, Disaster quake wins grim place in record books, New Scientist, Feb. 18, 1995, 5.

الفصل الثالث

مخاطر المأوى

سان فرانسيسكو ١٩٠٦ ، ومسينا ١٩٠٨

ضُربت كلتا هاتين المدينتين بزلازل مدمرة في الصباح الباكر بينما كان معظم السكان مازالوا في أسرتهم: فضرب الزلزال سان فرانسيسكو في الساعة ١٢ : ٥ من صباح ١٨ أبريل عام ١٩٠٦، وضرب مسينا في الساعة ٢٣ : ٥ من صباح ٢٨ ديسمبر عام ١٩٠٨ . وسنجد من نواحٍ جد أساسية أن الحدثين في المدينتين كانا يتماثلان جيوفيزيائياً ولهما ملامح جغرافية متماثلة، كما كان يتشابه فيهما ما حدث من فقدان للممتلكات الشخصية. على أن فقدان الحياة البشرية اختلف فيهما اختلافاً شديداً.

ومسينا ميناء بحرى مزدهر على الشاطئ الشمالي الشرقي لصقلية، وكان عدد سكانها وقت أن ضربها الزلزال يقارب ١٥٠٠٠٠ فرد. وقدر عدد الموتى كما نشر في أبريل عام ١٩٠٩ برقم لا يمكن تخيله وهو ١٠٠٠٠٠ في مسينا وحدها و٥٠٠٠٠ في المدن المجاورة [١] والمصادر الأحدث لا تعدل هذه الأرقام كثيراً، وتنكر إدارة الولايات المتحدة القومية للمحيطات والجو عدداً إجمالياً للضحايا يبلغ ١٢٠٠٠٠ على النطاق الواسع للحدث، وربما يكون ٨٢٠٠٠ منهم قد ماتوا في مسينا ذاتها[٢]. وبأى مقياس كان فإن هذه الكارثة رهيبة، حيث إن معدل مَن نجوا أحياء هو فحسب ٣٣٪ إلى ٤٥٪ والحقيقة أن هذا فيما يُحتمل هو أقل معدل في التاريخ لعدد مَن نجوا أحياء من البشر بعد أي زلزال.

كان سكان سان فرانسيسكو فى عام ١٩٠٦ يبلغ عددهم ٣٥٥٠٠٠، أى أكثر من ضعف سكان مسينا فى عام ١٩٠٨، ولم يبق من منشآت سان فرانسيسكو إلا ربع واحد فقط هو الذى نجا من التدمير بالزلزال والحريق الناجم عنه، الذى ظل مشتعلاً بدون أى تحكم فيه لما يزيد عن ثلاثة أيام[٣]. على أنه لم يهلك فى كارثة سان فرانسيسكو إلا أقل من ٧٠٠ فرد، بما أدى إلى أن تكون نجاة الناس أحياء بمعدل يبلغ على الأقل ٩٩,٨٪ .

فى مسينا هلك ما بين ٥٥٣ إلى ٦٦٧ من كل ألف من السكان. أما فى سان فرانسيسكو فقد هلك نحو فردين من كل ألف من السكان. وبكلمات أخرى فإن احتمال نجاة الفرد حيًا بعد زلزال الولايات المتحدة كان احتمالاً أفضل بنحو ٢٨٠ إلى ٤٨٠ ضعف عن احتمال نجاة الفرد حيًا إثر حدث صقلية الذى وقع بعدها بعامين.

هذا التفاوت المثير فى معدل نجاة الناس أحياء يتطلب تفسيراً. هل كان زلزال مسينا أشد قوة؟ لا، لقد ثبت فى النهاية أن زلزال مسينا بلغت مرتبته ٧,٥ بمقياس ريختر، بينما عانت سان فرانسيسكو من زلزال مرتبته ٨,٢٥ ولما كان مقياس ريختر لوغاريتمياً وليس خطيًا فإن ما يثبت فى النهاية هو أن حدث سان فرانسيسكو قد انطلقت فيه طاقة زلزالية تفوق مسينا بما يزيد عن خمسة أمثال!.

الموجات التسونامية؟ إنها لم تكن بالعامل المهم: فالأمواج عند مسينا والمدن المجاورة لم تكن بالذات موجات عنيفة، وقد بدأت بقرارها بدلاً من قمتها الخطرة ولم تتدفق إلى أى مناطق سكنية رئيسية. أما فى سان فرانسيسكو فمن الظاهر أنه لم تكن هناك موجات تسونامية على الإطلاق. الحريق؟ كان حريق سان فرانسيسكو هو الأسوأ إلى حد بعيد ولم يتم التحكم فيه إلا بعد اتخاذ قرار باستخدام الديناميت لنسف بلوكات عديدة بأكملها فى المدينة لتوفر حواجز للنيران. وفى مسينا كان هناك حرائق صغيرة معدودة أطفئت سريعًا بفعل الأمطار ولا يمكن أن تعد بأى احتمال السبب فى أى نسبة مهمة من أعداد الموتى التى تجفل لها الأذهان.

ماذا عن تاريخ الزلازل فى المنطقتين؟ هل كان سكان إحدى المدينتين راضين عن حالهم بأكثر من الأخرى؟ هذا مطلب أصعب. عند وقوع الكارثة فى عام ١٩٠٦ كانت سان

فرانسيسكو لا تستطيع أن تزعم لنفسها تاريخاً يزيد عن خمسين عاماً كمقر رئيسي للسكني، ولم يكن بين سكانها إلا نسبة صغيرة ممن ولدوا في كاليفورنيا. وفي عام ١٨٥٦ لم تكن المدينة سوى بلدة مناجم ذات مبانٍ صغيرة الحجم، وعانت وقتها من هزة عنيفة أدت إلى ضحايا معدودين ماتوا أساساً من المداخن المتهاوية. وحدث في عام ١٨٧٢ زلزال صدَّع جدران المباني العامة كما سبَّب ذعراً قليلاً، على أن معظم الوفيات التي لم تتجاوز عشرات معدودة كانت نتيجة لانهيار التربة من جرف خارج المدينة. وفي عام ١٨٩٨ لحق الدمار بمنازل عديدة وعاني حوض السفن للأسطول من تلف شديد، ولكن لم تحدث وفيات. على أنه خلال هذه الفترة كان متوسط الهزات التي يُحس بها هو بمعدل ثلاث أو أربع هزات في السنة. وبالتالي فإنه يمكننا أن نفترض أن سكان سان فرانسيسكو في عام ١٩٠٦ كانوا عموماً على دراية بظاهرة الزلازل، ولكن عدداً قليلاً جداً منهم هم فقط الذين عانوا من زلزال خطير.

أما في مسينا فهي في تباين مع ذلك لا يمكن أن تعد من المدن التي اتسعت سريعاً بالمهاجرين الجدد. ففي عام ١٩٠٨ كان في استطاعة هذه المدينة أن ترجع النظر في سجل تاريخي طويل يزيد عن ألفي عام، وكانت أسر معظم سكانها قد ظلت تعيش فيها على نحو متصل لأجيال كثيرة. وكان معظمهم يعرفون أن هناك رسمياً ٢٩٥١٥ فرداً قد ماتوا في الزلزال الكارثي الذي حدث في ٥ فبراير عام ١٧٨٣ (ودمر معظم المدينة)، وكانوا جميعاً قد خبروا فعلاً الهزات الأحدث المدمرة في عامي ١٨٩٤ و١٨٩٦ وفي ٨ سبتمبر عام ١٩٠٥، وقد نتج عن هذا الأخير ٥٢٩ حالة من الوفيات. والناس الذين عاشوا في مسينا في سنة ١٩٠٨ لا يمكن أن نقول أنهم على غير دراية بفكرة إمكان حدوث وفيات ودمار على نطاق واسع بسبب الحركات الأرضية المفاجئة. وإذن فنحن لا نستطيع أن نحاج بأن الوافدين الجدد من سكان سان فرانسيسكو كانوا متنورين بالمعلومات عن مخاطر الزلازل على نحو أفضل من سكان مسينا المقيمين فيها منذ زمن طويل.

هل كان علم الجيولوجيا متقدماً في كاليفورنيا أكثر مما في صقلية؟ مرة أخرى، لا. كان هناك عند نهاية القرن خريطة جيولوجية لجنوب إيطاليا وصقلية[4] تبين خطوط

الصدع وأنواع الطبقات التحتية، وهذه الخريطة تعد على الأقل مما يماثل أي خرائط معاصرة لمنطقة سان فرانسيسكو من حيث التفاصيل والدقة. وفوق ذلك، لو كان يحق لعلماء كاليفورنيا الزعم بأي فضل لهم في المعدل العالي لمن نجوا أحياء في سان فرانسيسكو، فلماذا إذن أصيبت جامعة ستانفورد مقرهم الأكاديمي بتلف شديد هكذا في الحدث؟

إن أيًا من العوامل التي ذكرناها في التو لا يفسر بنجاح ما حدث من تفاوت درامي في معدلات من نجوا أحياء. حتى نجيب عن السؤال عن السبب في أن ما يقرب من ١٢٠٠٠٠ قد ماتوا في مسينا بينما لم يمت إلا ٧٠٠ فرد في الزلزال الأقوى الذي حدث في مدينة أكبر هي سان فرانسيسكو، سنحتاج إلى أن ننظر في أمر أنواع الإنشاءات التي كان يأوي إليها سكان المدينتين أثناء نومهم في هذين الصباحين الفاجعين. كانت معظم المنشآت في سان فرانسيسكو من الخشب، فهو مادة بناء رخيصة ومتوفرة بالنسبة لهذه المدينة التي تنمو سريعًا. أما في مسينا فالبيوت كان أغلبها من الحجارة، مع أرضيات من حجارة ضخمة وأسقف من القرميد تحملها أخشاب توضع في كوى في الجدران الجرانيتية. وعندما أخذت جدران مسينا تهتز في الزلزال، فإن الدعامات الخشبية في المدينة كلها انزلقت من كواها في الحائط وأتاحت للحجارة الثقيلة العالية أن تنهار على السكان أسفلها. وما لبثت الجدران غير المدعمة أن تهاوت من فوق الأنقاض. ولم تحدث حرائق كثيرة، لأنه لم يكن يوجد سوى القليل جدًا مما يحترق، فكل شيء تقريبًا كان من الحجارة. أما في سان فرانسيسكو، فإن معظم المباني الخشبية انثنت بمرونة في الهزة وظلت باقية وهي نسبيًا سليمة، ما لم يتزحزح أساسها . وبالتالي فإن معظم السكان كان لديهم الوقت الكافي للخروج قبل الحريق المحتوم بزمن طويل.

والرسالة واضحة: إن عدد الوفيات في زلزال ما يتعلق بنوع تشييد المبنى أكثر من تعلقه بشدة الزلزال. والزلازل نفسها قلما تقتل الناس، وفي الغالب تكون مبانينا هي ما يقتل الناس.

مواد طبيعية ومواد مركبة

ظلت عمليات التطور الجيولوجية والبيولوجية لبلايين عديدة من السنين وهى تدفع معمل تنمية التصميم الإنشائى عند أمنا الطبيعة. وعندما وصل قدماء البشر إلى المشهد كانت الأشجار قد تعلمت منذ زمن طويل أن تنحنى مع الرياح ولكنها تحتفظ بجذورها ثابتة فى التربة. وتطرح الأحجار نوعًا مختلفًا من استمرار البقاء: فهى تقاوم النيران والتلف. وحيث إن الخشب والحجارة يظلان باقيين بما يتجاوز مدى الحياة البشرية بهامش له قدره فقد أصبحا منذ زمن طويل خيارين واضحين لتصنيع مأوى الإنسان وغير ذلك من الإنشاءات التى يصنعها .

ويحاج جاكوب برونوسكى على نحو مقنع بأن قدماء البشر قبل أن يتمكنوا من إقامة المبانى كان عليهم أولاً أن يتعلموا تفكيك الأشياء[٥]. وتذهب هذه المقولة لما هو أعمق من الاحتياج الواضح إلى تقطيع الشجيرات بفأس لبناء كوخ أو إلى كسر الحجارة إلى كتل يمكن التعامل معها لتتكدس عاليًا فى جدار. والأحرى أنه كان من الضرورى لقدماء البنائين أن يدرسوا من خلال التجربة والخطأ الظروف التى تفشل فيها المواد الطبيعية. وحتى نعالج مواد الطبيعة الخام لتصبح مواد بناء مفيدة سنكون فى حاجة إلى أن نحدث إخفاقات على نحو محكوم وقابل للتنبؤ، وبكلمات أخرى يجب أن نتعلم كيف تتيح أمنا الطبيعة تفكيك ما صنعته بيديها . وبعدها، فإننا حتى نعيد تجميع هذه المواد المعالجة إلى تشكيلات جديدة، يجب أن نراعى "تجنب" نفس تلك الظروف التى تؤدى إلى إخفاق المواد. وستكون فائدة المأوى ضئيلة بالنسبة لنا إذا كان عرضة لانهيار غير متوقع.

وعندما نتوقع أنه يمكن فهم أمنا الطبيعة بتفكيك ما تصنعه بيديها ودراسة خواص هذه الأجزاء، فإن هذا يشار إليه عمومًا بأنه "اختزالية علمية". وهذه العملية الذهنية تحدث على مستوى قاعدة الهرم فى شكل (٢، ٢) فى الفصل السابق، وهدفها هو اكتشاف المبادئ الأساسية التى تحكم سلوك أوسع مدى ممكن من شتى مصنوعات الطبيعة. والعقيدة الأساسية للاختزالية هى كالتالى: عندما نعرف كيف تسلك المواد عند أقصى مستوى أساسى لها، فإنه ينبغى أن نتمكن من التنبؤ بطريقة

سلوكها عندما نولف بينها فى تشكيلات جديدة لم تلاحَظ قط فى الطبيعة (كبيوت من الطوب مثلاً).

ومن الواضح أن ثمة عيب فى هذا النوع من التفكير، لأنه يعتبر أن البنية الكلية ليست إلا مجموع أجزائها. أما عند التطبيق العملى فإن هناك دائمًا مفاجآت - نتائج غير متوقعة - فى أى وقت يعاد فيه تجميع المواد الطبيعية فى تشكيلات غير طبيعية. والحقيقة أن علماء ومهندسى المواد الجدد على وعى تام بهذا العيب، ولا يوجد الآن من يفكر بطريقة اختزالية خالصة سوى عدد جد قليل. ومع ذلك، فإننا عندما نلتمس الإرشادات بشأن عالم الممكنات الإنشائية والمحاذير بشأن المستحيلات الإنشائية، سنجد أن المعرفة التى تم اكتسابها من خلال التفكير الاختزالى مازالت مفيدة إلى حد كبير.

والهندسة مهمة أشق من العلم. وعندما يفشل أحد المنشآت يقع اللوم على المهندسين والمقاولين وليس على العلماء الذى أمدوهم بالأسس النظرية لعلمهم الواقعى. وكثيراً ما يكون استحقاقهم للوم مبرراً، فنحن نتوقع أن يتم تصميم إنشاءاتنا بما يتفق مع المبادئ العلمية (كما نعرفها وقتها) ولوائح البناء التى تجسد هذه المبادئ(٦). وعندما يحدث تجاهل للنموذج الأساسى العلمى الراسخ أو يطبق هذا النموذج على نحو خطأ، فإن هذه غلطة المهندس أو المقاول. وإذا كان هناك بناء على الشاطئ عند كيب هاتيراس وتقوضت ركائزه فى موجة عاصفة مثلاً، فمن الطبيعى أن نتشكك فى هندسته. ومن الناحية الأخرى، عندما ينهار بناء فى بوسطن فى زلزال استثنائى، فإننا لا نلوم العلماء لفشلهم فى توقع مخاطر الزلزال. وبدلاً من ذلك، فإننا نقر بالحاجة إلى مزيد من الدراسة العلمية فيما يتعلق بزلازل الساحل الشرقى.

وعلى الرغم من أن مثل هذا التوقع الاجتماعى المحدود قد يبدو كأنه تصميم خطة لإلغاء المسئولية العلمية إلا أن الحقيقة أن هذا لم يحدث. لقد ظلت أعداد كبيرة من علماء الفيزياء طيلة القرون وهم يجتهدون دائمًا فى نضالهم للكشف عن تلك المبادئ التى لها تطبيقات اجتماعية مباشرة. وسوف نستكشف فى الأقسام القليلة التالية بعض المبادئ العلمية التى ثبتت فائدتها فى التنبؤ بطريقة سلوك المواد فى المنشآت.

الأحداث الفيزيقية والقوى

فكرة "القوة" تتخذ جذورها من خبرات طفولتنا الباكرة: فنحن ندفع الأشياء، ونجذب الأشياء، ونلاحظ أن الأشياء التى ندفعها أو نشدها تتحرك أحيانًا أو تتكسر. وحتى من يكونون منا على أقصى درجة من الخرق فى الميكانيكا فإنهم يتعلمون كيف يكونون مهندسين عند مستوى ما، فيجربون إعادة تنظيم ما يحيط بنا فيزيقيًا ليعكس احتياجاتنا. على أننا لو اقتصرنا على أن نعرف فحسب كيف أن الأشياء "أحيانًا" تستجيب لما نبذله من جهد لكان هذ: برنامجًا لخيبة الأمل والإحباط. ونحن عندما نأتمن على حياتنا وأطرافنا مهندسين لا نعرفهم يصممون لنا المبانى، والسدود، والجسور، والمصاعد، فإننا نتوقع أن حسابات تصميماتهم تتأسس على بعض شيء أمتن من ارتباطات تحدث "أحيانًا" فى سلوك المواد فى المستقبل.

"والقوة" حسب التعريف هى دفع أو شد فى اتجاه معين. وحتى نقيس إحدى القوى يجب أن نلاحظ تأثيراتها: وكمثل فإن ميزانًا بسيطًا للحمام يقيس القوة التى تضغط على منصته بأن يربط بين الضغط على زنبرك داخلى وحركة مؤشر على تدريج. وكما أوضحت فى الفصل الثانى، فإن كل قياس هو مقارنة لكم فيزيقى مع وحدة ما قياسية. وعلى الرغم من أن الوحدة الدولية الرسمية لقياس القوى هى "النيوتن" (ن)، إلا أن هذه الوحدة من حيث التطبيق العملى لا تكاد تستخدم خارج المجتمع العلمى[٧]. وعلى نطاق العالم بأسره، فإن أكثر وحدة شائعة للتعبير عن القوى هى "كيلو جرام – قوة"

(KGF = كجم – ق)، وهى وحدة يفضل الكثير من العلماء عدم الإقرار بها (وإن كان المهندسون جد سعداء بها)[٨]. أما فى الولايات المتحدة فإن الوحدة المعتادة للقوة هى "الرطل" (lb). وحسب الاتفاق الدولى فإن هذه الوحدات الثلاث للقوى تكون العلاقة بينها كالتالى:

١ رطل = ٤,٤٤٨٢٢٢ ن = ٠,٤٥٣٥٩٢٣٧ كجم – ق

١ كجم – ق = ٢,٢٠٤٦٢٣ رطل = ٩,٨٠٦٦٥ ن

١ ن = ٠,٢٢٤٨٠٨٩ رطل = ٠,١٠١٩٧١٦ كجم – ق

وبالطبع، فإن هذه الدرجة من الضبط لا تستخدم كثيراً في التحليل الهندسي، لأنه من غير المعقول حوسبة وتوثيق هذه الأرقام التي لا يمكن قياسها في التطبيق العملي. وبالنسبة للقراء في الولايات المتحدة سيكون من المفيد أن يتذكروا أن الكيلو جرام – قوة يساوي نحو ٢,٢ رطلاً، وأن النيوتن يساوي نحو ربع رطل (تقريبًا وزن تفاحة صغيرة).

ويثبت في النهاية أن القوى قد ينتج أو لا ينتج عنها حركة، وأن الحركة قد تتطلب أو لا تتطلب قوى لاستمراريتها. والعلاقات التي بين القوى وسلوك الأجسام الفيزيقية علاقات أكثر حذقًا عن ذلك بكثير، كما بين ذلك أولاً إسحاق نيوتن في ستينيات القرن السابع عشر. وقوانين نيوتن عن القوى يكمن فيها العديد من المفاهيم الأساسية.

هناك أولاً مقدمة منطقية بأن القوى قادرة على أن تلغي كل منها الأخرى إذا كان فعلها في اتجاهات مضادة؛ وبالتالي، فإن ما يبقى متاحًا للتأثير في حركة جسم هو فحسب ذلك الجزء "اللا متوازن" من مجموعة للقوى. وقد تؤدي كارثة إلى أن يتعرض بناء إلى بعض قوى كبيرة جداً، ولكن إذا عورضت هذه القوى بقوى من داخل البنيان تساويها كبراً، فإن محصلة القوة اللا متوازنة ستكون صفراً، وسوف يتمتع البناء بأن يبقى رأسيًا. والتحدي الذي يواجه مهندسي الإنشاءات هو أن يضفوا على المنشأ القدرة على توليد قوى داخلية تعادل أي قوى خارجية (أحمال الثلج، الريح، إلخ) مما قد يظهر أثناء زمن حياة المبني، وكما سنرى سريعًا، فإن هذا يمكن فعله بأن نختار بحرص مواد الإنشاء حسب خواص مرونتها.

وثانيًا، هناك فكرة أن الحركة ليست أبدًا مطلقة. ولعلك تظن أنك في حالة سكون وأنت تقرأ هذا الكتاب، ولكن ثمة رأى يساوي ذلك صدقًا وهو أنك أنت والكتاب معًا تندفعان حول محور الأرض، بسرعات متطابقة (ربما تكون ١٠٠٠ كيلو متر في الساعة وذلك حسب خط عرض مكانك). ومن منظور آخر أيضًا، فإن حركة الأرض هذه حول محورها تتراكب فوق حركة الأرض في مدار حول الشمس بسرعة تقارب ٤١٠٠٠ كيلو متر في الساعة، وبالتالي فأنت والكتاب معًا تتحركان تقريبًا "بتلك" السرعة. وهلم جراً، بالنسبة لحركة الشمس وحركة المجرة بأسرها. إنك لا تستطيع الحديث عن مدى سرعة

حركتك بأى معنى مطلق، لأنك لا تستطيع أن تشير إلى شىء فى حالة سكون مطلق بحيث تستخدمه كمرجع. وعندما تحس بنسمة هواء، لا يكون من الضرورى أن الهواء هو الذى يتحرك وأنك أنت الذى في سكون، والأحرى أن قصارى ما يمكنك قوله هو أنك والهواء تتحركان بسرعات "مختلفة".

وليس من حاجة لأى قوة لتبقيك أنت (أو الجو) متحركًا بسرعة ثابتة، بصرف النظر عن مدى كبر هذه السرعة؛ فقد ثبت فى النهاية أن قوة ما تكون مطلوبة فحسب "لتغيير" سرعة أحد الأجسام، أو لتغيير اتجاه حركته. إن مركب البضائع الذى يحمله النهر مع التيار لا يخبر أى قوة لا متوازنة، مادام يسير مع التيار. ولكن إذا كان هناك رصيف جسر يعترض طريق مركب البضاعة، فإن الاصطدام به سيولد قوة لها مقدارها المهم وإمكانها للإضرار بالجسمين. وقوة الاصطدام هذه تظل هى نفسها بصرف النظر عن أى الجسمين (مركب البضائع أو الرصيف) هو الذى كان يتحرك "فعلاً" قبل الاصطدام.

والفكرة الثالثة والأكثر حذقًا بكثير، والتى لمستها من قبل هى كالتالى: التمييز بين السبب والنتيجة أمر لا أساس له فى الطبيعة. فالقوى تحدث دائمًا فى ثنائيات متساوية ومتضادة، ولا توجد معايير موضوعية يمكن أن يستخدمها المرء ليقرر أى الاثنين هو السبب وأيهما هو النتيجة. وإذا تصادف أن أصيب إصبعك بمطرقة، فإن الاستجابة الذهنية الطبيعية (التى تتضمنها لعنانك) هى اعتبار أن المطرقة هى سبب حدث فيزيقى نتيجته هى إصبع بكدمة. على أنه يساوى ذلك صدقًا، ملاحظة أن "الإصبع" قد سبب توقفًا مفاجئًا فى حركة المطرقة. يستطيع المرء أن يعد المطرقة سبب الاصطدام، أو أن المرء يستطيع أن يعد الإصبع هو سبب الاصطدام. أيهما تكون الحقيقة؟ من الواضح أنه لا توجد طريقة خالصة الموضوعية لتقرير ذلك. وكل ما نستطيع أن نقوله موضوعياً هو أن الحدث الفيزيقى يتميز بتفاعل متبادل بين الإصبع والمطرقة.

ومع ذلك مازالت لغة السبب والنتيجة باقية على قيد الحياة لأنها طريقة بسيطة لتعكس أحكامنا البشرية التقييمية. عندما تصطدم رياح عاتية بمنزل، فإننا كبشر سنهتم بلا شك بتأثير الرياح على البيت أكبر من اهتمامنا بتأثير البيت على الرياح.

على أن نيوتن يخبرنا بأن التحليل الفيزيائى يمكن أن يسير فى أى من الاتجاهين. وهذا التبصر يمكن أن يكون مفيداً جداً، ذلك أننا لو أمكننا تحليل طريقة تأثير أحد المنشآت فى الرياح (ربما بدراسة نموذج فى نفق الرياح)، فإننا سوف نتعلم أيضاً أمر القوى التى تمارسها الريح فى المقابل على المنشأ.

وفى أى أدبيات، بما فى ذلك الأدبيات العلمية، سنجد أن كلمتى "سبب" و"نتيجة" تدل دائمًا على أن الكاتب يصف حدثًا بلغة من أحكامه التقييمية أو من أولوياته الخاصة به. وأنا شخصياً أستخدم كلمة "لأن" كثيراً مثل أى شخص آخر، ولا أقدم أى اعتذار عن فعل ذلك. إلا أن أحداث الكون عند مستواها الأساسى لا يدفعها إلا تفاعلات متبادلة، وليس من سبيل لأن نميز بلا لبس "الأسباب" من "النتائج". فالأمر أننا نحن، كبشر، الذين نضفى أهمية أكبر على ذلك الجزء من التفاعل المتبادل الذى يهمنا أكثر الاهتمام.

أنواع القوى

تصف قوانين نيوتن للحركة التفاعلات ما بين القوى والأجسام المادية. على أن هذه القوانين لا تخبرنا بشىء عن الطريقة التى نشأت بها هذه القوى نفسها. وحتى ندرس سلوك المنشآت فإننا نحتاج أولاً إلى تحديد بعض أنواع معينة من القوى.

"الجاذبية": أدرك نيوتن أن كل جسم فى الكون يجذب كل جسم آخر فى الكون بواسطة قوة جذبوية. وهذه قوة ضعيفة أقصى الضعف فى معظم الحالات، ويتطلب الأمر جسمًا له كتلة هائلة (كوكب الأرض كله مثلاً) لتنتج عنه قوة جذبوية ذات مغزى بحيث تؤثر على أجسام فى حجم البشر. و"وزن" أحد الأجسام هو القوة الجذبوية التى تشده إلى الأرض. ومن الواضح أنه يلزم تصميم كل المبانى بحيث تتحمل وزن كل عناصرها الإنشائية نفسها، وتتحمل أى وزن يضيفه شاغلوها من البشر، والثلج الذى على السقف، وهلم جراً.

والجاذبية أيضًا تتسبب في المد والجزر. فالشد الجذبوى للقمر يشوه محيطات العالم في بروزين اثنين للمد يندفعان حول الكرة الأرضية أثناء دورانها. ويحدث مرتين تقريبًا في كل شهر، عند اقتران الأرض والقمر والشمس على نفس الخط، أن يكون تراوح المد (من المد العالى إلى الجزر المنخفض) تراوحًا كبيرًا بالذات. وإذا هاجم إعصار استوائى (تيفون) أحد الشواطئ أثناء هذا الاقتران فإنه يمكن أن يكون مدمرًا على وجه الخصوص .

"الاحتكاك": مفعول هذه القوة هو تأخير (وأحيانًا منع) الحركة النسبية بين سطحين متلامسين. والاحتكاك قوة جد حساسة للخواص الميكروسكوبية للأسطح البينية، ولوجود المواد التزييتية أو الملوثة، وللقوى التى تضغط الأسطح معًا. أما مساحة تلامس السطح ودرجة الحرارة فتأثيرها صغير. وكل منشأ يتأثر بالاحتكاك إلى حد ما على الأقل. والكثير من المبانى الأقدم عمرًا تكون ببساطة فى حالة تربيح فوق أساساتها وتعتمد على الجاذبية والاحتكاك فى الحفاظ عليها فى مكانها. والمسامير، والرزات (*) ومجموعات الصواميل والورد تحتفظ بوضعها بسبب الاحتكاك. وحتى كتابة هذا فإن تنبؤاتنا الرياضية بقوى الاحتكاك تكون فى أحسن أحوالها تقريبية، وكنتيجة لذلك، فإن أى رابط إنشائى يعتمد على الاحتكاك ينبغى دائمًا أن يكون تصميمه بمبالغة من هامش أمن له قدره.

"القوى الإستاتيكية للسوائل": السائل هو أى مادة لها القدرة على الانسياب؛ وبالنسبة لأهدافنا هنا فإن الأمثلة المهمة لذلك هى الجو، والمياه، واللابة المنصهرة، وأحيانًا الطين. والسوائل بالطبع تنقل وزنها لأى شىء يكون أسفلها. على أنها أيضًا لها القدرة على نقل جزء من وزنها فى اتجاه الأعلى، وهى ظاهرة تعرف بالقابلية للطفو أو "دفع المائع"[٩].

وقد نظر العالم الإغريقى أرشميدس إلى دفع المائع بالطريقة التالية: عندما يُغمر أحد الأجسام فى سائل، فإن الجسم يزيح جزءًا من السائل، ويخلق بالفعل ثقبًا فى

(*) مسامير لكل منها سن مزدوج فى شكل حرف U، تستخدم مثلاً فى تثبيت الأسلاك الكهربائية للجدار. (المترجم)

السائل. وعندما يحاول السائل أن يجرى إلى داخل الثقب، فإنه يدفع الجسم المغمور لأعلى، مولداً قوة دفع مائع. وبالطبع، فإن الجسم قد لا "يتحرك" فى الواقع لأعلى إذا كانت هناك قوى أخرى موجودة لتضاد هذا الدفع المائع، بل إن الجسم قد يغوص لأسفل عندما تكون قوة دفع المائع غير كافية لتحمل وزنه. ومع ذلك فإن الأجسام فى السوائل تتعرض دائمًا لدرجة ما من دفع المائع. وقد يحدث لأحد المنازل أن يطفو بعيداً بسبب هذه الظاهرة حتى ولو كان ذلك من مياه فيضان تتحرك فى بطء.

"القوى الديناميكية للسوائل": السوائل تجرى طبيعيًا من مناطق الضغط العالى إلى مناطق الضغط المنخفض. والسوائل المتحركة تتبع قوانين نيوتن للقصور الذاتى: فهى ما إن تتحرك حتى تنحو للاستمرار فى الحركة فى خط مستقيم. وإذا حدث لسائل متحرك أن تعرض للانحراف أو الإيقاف بواسطة إحدى العقبات، فإنه يستطيع أن ينقل قوة قصور ذاتى كبيرة جداً لهذه العقبة. وكمثل، فإن الماء الذى يتحرك سريعًا لا يجد أى صعوبة فى اقتلاع الأشجار وجرف المنازل بعيداً (شكل٣ ، ١).



شكل (٣ ،١) شهادة على قوة الماء المتحرك. حطام منزل جون شولتز فى شارع يونيون بمدينة جونزتاون، بعد فيضان عام ١٨٨٩ (صحفى، بيتسبرج، ١٨٨٩)

وبالإضافة إلى قوى القصور الذاتى، فإن السوائل المتحركة يمكن أن تولد أيضاً قوى رفع ديناميكية. وظاهرة الرفع تستغل روتينياً فى تصميم أجنحة الطائرات وكذلك أيضاً جسم السفن المائية الطائرة.

ومن السهل عمل بيان عملى لهذه الظاهرة بالإمساك بصفحة من الورق أفقياً أمام الفم ثم ننفخ من فوق السطح الأعلى. سنجد أن الورقة سترتفع فى الهواء الذى يتحرك بسرعة. وبنفس الطريقة فإن سقف أحد البيوت سيتعرض لقوة رفع فى الرياح العنيفة.

"احتكاك السوائل": السائل المتحرك ينقل قوة احتكاكية إلى جوانب أى قناة يجرى خلالها. وكلما زادت سرعة الحركة، زادت هذه القوة. وكمثل، فإن ثقباً صغيراً فى أحد السدود ينحو إلى التآكل سريعاً ليصبح ثقباً كبيراً، ويمكن له أن يؤدى إلى فشل المنشأ بأسره. والجسم الذى يحمله بعيداً سائل يتحرك سوف يكتسب سريعاً، بسبب الاحتكاك بالسائل، نفس سرعة السائل. ولهذا السبب نفسه فإن أشياء مما تبدو غير ضارة مثل كرسى شرفة سائب أو حتى شوكة صنوبر، يمكن أن تصبح قذيفة خطرة فى أحد الأعاصير.

"القوى المرنة": كل شيء صلب يظهر القدرة على "تذكر" شكله الأصلى عندما يتشوه (يتغير شكله) هوناً بالقوى الخارجية. وعند إزالة القوى الخارجية، فإن القوى المرنة داخل الجسم الصلب تعيده إلى شكله الأصلى. وكمثل، فإن الشجرة تنحنى فى مهب الريح، ثم ترتد لتستقيم عندما تهدأ الريح. وبالطبع فإنه يوجد حد لهذا السلوك، وتجاوز الحد سيسبب فشلاً. ويتم اختيار المواد الإنشائية بسبب قدرتها على توليد هذه القوة الداخلية المرنة فى نطاق مدى التشوهات المتوقعة.

شدة قوى المواد

فى قرابة عام ١٦٧٠، أجرى الفيلسوف الطبيعى الإنجليزى روبرت هوك سلسلة من الدراسات عن خواص الزنبركات. وقد وجد أنه إذا احتاج مثلاً زنبرك معين إلى

٢ كجم – ق لمطه سنتيمتراً واحداً، فإننا سنحتاج إلى قوة ٤ كجم – ق لمطه نفس الزنبرك سنتيمترين اثنين ، وإلى ٦ كجم – ق لمطه ٣ سنتيميترات. وبكلمات أخرى فإن مقدار ما يحدث من تشوه يتناسب طردياً مع مقدار القوة. والزنبركات الصلبة (الجاسئة) تحمل قوى أكبر مما تحمله الزنبركات الرخوة، ولكن يحدث فى كل حالة أن تؤدى زيادة القوة بمثلين إلى زيادة التشوه بمثلين، وزيادة القوة بثلاثة أمثال ستؤدى إلى زيادة التشوه بثلاثة أمثال. وبالإضافة، فإن الزنبركات تتكرر عودتها إلى شكلها الأصلى عند إزالة القوة التى تسبب التشوه (وهذا بالطبع هو ما يتيح لها أن تكون زنبركات).

لاحظ هوك أيضًا أن هذا السلوك يظل صادقًا حتى حد محدود. وعندما تؤثر فى أحد الزنبركات قوة كبيرة بما يكفى، فإن الزنبرك سوف يمتط بمقدار له قدره، أكبر مما تتنبأ به العلاقة التناسبية البسيطة. ثم بعدها، عند إزالة هذه القوة الكبيرة، فإن الزنبرك لن يعود عودة كاملة إلى شكله الأصلى. وقد لخُصت هذه المشاهدة بالقول بأن كل زنبرك له "حد مرونة". ولسوء الحظ. فإن قياس حد المرونة يتطلب منا فى الواقع أن ندمر الزنبرك.

لماذا نتحدث عن الزنبركات؟ لأنه ثبت فى النهاية أن كل المواد الإنشائية – سواء كانت من الحجر أو الخرسانة أو الخشب أو الكمرات (جيزان) الصلب – تسلك مثل زنبركات جد صلبة. والمواد الإنشائية يلزم أن تكون مرنة، وإلا فإنها لن تستطيع حمل ثقل. ومن المستحيل تمامًا بناء منشأ من معجون أو من الصلصال الطرى المتشكل – أى من مواد تنقصها المرونة، حتى ولو كان هذا المنشأ صغيراً.

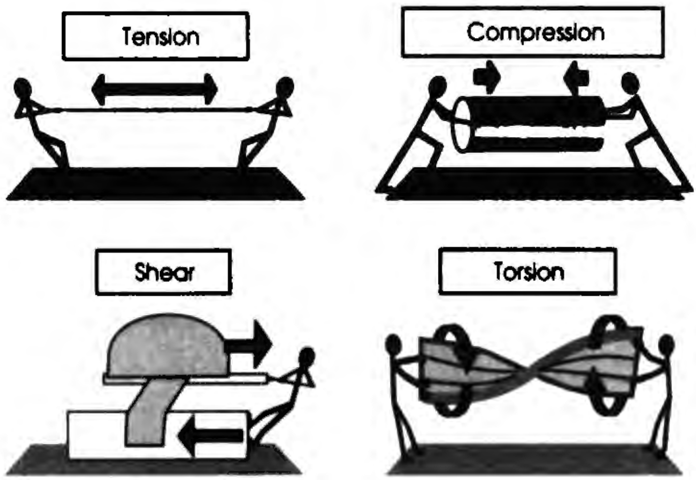
ومن الواضح أن كمرة الصلب لا تتشوه بقدر كبير تحت تأثير أحد الأحمال. على أنها بالفعل تتشوه قليلاً، وهذا التشوه يمكن قياسه بأدوات الاختبار الملائمة. كما يمكن أيضًا قياس حد مرونة كمرة الصلب، وإن كان ذلك لا يتم إلا بجهود بطولية تؤدى بالضرورة إلى تدمير الكمرة. ونحن بالطبع إذا كنا نريد أن نعرف مقدار الثقل الذى تتحمله الكمرة، فلن يفيدنا كثيراً أن ندمر الكمرة لنحصل على المعلومة. أما ما نحتاج لأن نفعله فهو أن "نتنبأ" بالثقل الذى يمكن للكمرة أن تحمله.

إننا نبدأ بملاحظة أن هناك وسائل عديدة لتشويه إحدى المواد الصلبة (شكل ٣،٢). وأكثر ما يشيع من تشوه هو "الانضغاط" كما يحدث عندما يؤدى مفعول حمل إلى سحق عمود حامل. وعندما يحدث مط لعنصر إنشائى (كعود صلب مثلاً)، فإننا نقول إنه في حالة "شد". و"الانحناء" كما سنرى سريعًا، يمكن أن يعد كتوليفة من الشد والانضغاط فى أجزاء مختلفة من العنصر. وتصميم أدوات الربط يجب أن يضع "الالتواء" موضع الاعتبار، وهو تشويه باللوى، وكذلك أيضًا "الجز" وهو التزحزح النسبي بطول مستويين متوازيين داخل المادة.

عندما تضرب أمنا الطبيعة أحد المباني، فإن التشوهات التى يكون لها أكبر تأثير حاسم فى الحفاظ على بقاء المبنى هو الشد والانضغاط والانحناء. وعلى الرغم من أن التحليل الرياضى الكامل لهذه التشوهات يمكن أن يصبح معقداً جداً إلا أن المبادئ الأساسية يمكن توصيفها ببعض الحساب البسيط نسبيًا كما يلى.

من الواضح أن العنصر الإنشائى السميك يكون أقوى من العنصر الرفيع المصنوع من نفس المادة. ومن حيث الشد والانضغاط فإن طول العنصر لا يؤثر فى قوته: فإذا كان حبل بطول عشرة أمتار سيرفع ثقلاً من ٢٥٠ كجم - ق، فإن طول خمسة أمتار من نفس الحبل لن يرفع أكثر أو أقل من ذلك. وعند تحديد شدة قوة عنصر إنشائى يكون العنصر الهندسى المهم هو مساحة المقطع الأفقى الذى يتحمل الحمل. ونسبة قوة التحميل إلى هذه المساحة الحاملة تسمى الإجهاد:

$$\text{الإجهاد} = \frac{\text{قوة التحميل}}{\text{المساحة الحاملة}}$$



شكل (٣ ، ٢) أنواع تشوهات (تشكلات) المواد الصلبة

وإذا عبرنا عن قوة التحميل بوحدات من كجم - ق ، وعن المساحة الحاملة بسنتيمترات مربعة، فإن وحدات الإجهاد تكون كيلو جرام - قوة للسنتيمتر المربع (كجم - ق/سم٢). وتشيع في الولايات المتحدة وحدة بديلة هي رطل للبوصة المربعة (رطل/بوصة٢). وكمثل، فنحن نرى في شكل (٣،٣) عموداً يحمل قوة تحميل من ١٢٠٠٠ كجم - ق. والمساحة الحاملة هي ٩ سم × ٩ سم أو ٨١ سم٢ فيكون الإجهاد لهذا العمود هو الثقل الواقع عليه مقسوماً على المساحة، أو هو ١٤٨ كجم -ق/سم٢ وارتفاع العمود لا علاقة له بهذه النتيجة.

وهذه العملية الحسابية لو نظرنا إليها وحدها فإنها لا تكون بالذات مثيرة للاهتمام أو مفيدة، على أننا لو نظرنا إلى جدول (٣،١) سوف نرى أن بعض المواد يمكن أن تحمل بأمان ما حسبناه من ١٤٨ كجم - ق للسنتيمتر المربع، أما المواد الأخرى فلا يمكنها ذلك.

وإذا كان العمود في شكل (٣،٣) مصنوعًا من الطوب العادي أو من الخرسانة، فسوف يفشل في التو عند تعرضه لحملنا. ومن الناحية الأخرى، فإن عموداً من الفولاذ الصلب سيكون أمنًا بهامش له قدره حيث إن فولاذ الإنشاءات يمكنه أن يتحمل ٢٥٠٠ كجم - ق للسنتيمتر المربع دون تجاوز لحد مرونته.

هل يعنى هذا أن من المستحيل تحميل ١٢٠٠٠ كجم - ق بعمود خرسانة؟ مطلقا. إنه يعنى ببساطة أن عمود الخرسانة سيلزمه أن تزاد قوته بما يتجاوز مساحة ٩ × ٩ سم التى استخدمناها فى هذا المثل.



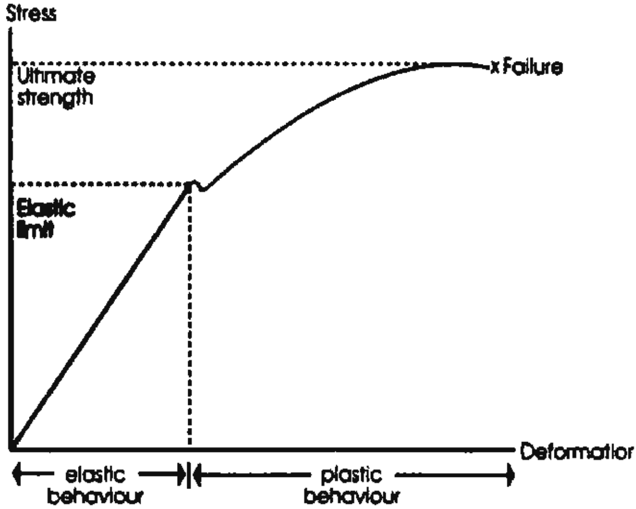
شكل (٣.٣) عمود رأسى يحمل حملاً ضاغطًا من ١٢٠٠٠ كجم. ق. وإذا كانت مساحة القطاع الأفقى ٨١ سم٢، يكون إجهاد الضغط ١٤٨ كجم - ق/ سم٢، وإذا كان هذا العمود مصنوعاً من الخراسانة أو الطوب، فإنه سيفشل ، وإذا كان مصنوعًا من الصلب فسوف يتحمل هذا الحمل.

جدول (١.٣) جدول المرونة وأقصى درجات قوة بعض المواد الممثلة (ق كجم/سم٢)

المادة الصلبة	حد المرونة		أقصى درجات القوة	
	الشد	الضغط	الشد	الضغط
ألومنيوم	٨٤٠	٨٤٠	١٨٠٠	ما لا نهاية
الطوب بأقصى صلابة	٣٠	٨٤٠	٣٠	٨٤٠
طوب عادى	٤	٧٠	٤	٧٠
خرسانة ، بورتلاند عمر شهر واحد	١٤	٧٠	١٤	٧٠
خرسانة ، بورتلاند عمر سنة واحدة	٢٨	١٤٠	٢٨	١٤٠
خشب تنوب دوجلاس	٣٣٠	٣٣٠	٥٠٠	٤٣٠
جرانيت	٤٩	١٣٠٠	٤٩	١٣٠٠
حديد ، زهر	٤٢٠	١٨٠٠	١٤٠٠	٥٦٠٠
حجر جيرى وحجر رملى	٢١	٦٣٠	٢١	٦٣٠
بلوط ، أبيض	٣١٠	٣١٠	٦٠٠	٥٢٠
صنوبر ، أبيض	٢٧٠	٢٧٠	٤٠٠	٣٤٥
إردواز	٣٥	٩٨٠	٣٥	٩٨٠
كابل فولاذ جسر	٦٧٠٠	٦٧٠٠	١٥٠٠٠	١٥٠٠٠
فولاذ ، مسقى ١٪ كربون	٥٠٠٠	٥٠٠٠	٨٤٠٠	٨٤٠٠
فولاذ ، مسقى كروم	٩١٠٠	٩١٠٠	١١٠٠٠	١١٠٠٠
فولاذ، لا يصدأ	٢١٠٠	٢١٠٠	٥٣٠٠	٥٣٠٠
فولاذ ، إنشائى	٢٥٠٠	٢٥٠٠	٤٦٠٠	٤٦٠٠

ملحوظة: ١ كجم - ق/سم٢ = ١٤,٢٢ رطل/بوصة ٢ مأخوذة عن إ. زيبروسكى الصغير،

E. Zebrowski, Jr., Practical physics (McGraw-Hill, 1980.)



شكل (٣، ٤) العلاقة بين الإجهاد والتشوه بالنسبة لمادة صلبة نموذجية. عند الإجهادات المنخفضة، يكون سلوك معظم المواد الصلبة مرنًا. وعندما يتجاوز الإجهاد الحد المرن فإن الكثير من المواد تظهر سلوكًا من اللدونة (سلوكًا بلاستيكيًا) قبل فشلها .

لنفرض مثلاً أننا نطرح تحميل ١٢٠٠٠ كجم - ق على عمود خرسانة أبعاد مقطعه الأفقي ٢٣ سم × ٢٣ سم. ستكون المساحة الحاملة الآن ٥٢٩ سم٢، ويكون الإجهاد ١٢٠٠٠ كجم ق/٥٢٩ سم٢ أو ٢٢.٧ كجم - ق/سم٢ . بالرجوع إلى جدول ٣.١ سنرى أن حد المرونة حتى بالنسبة لخرسانة الإسمنت الحديث السن نسبياً هو ٧٠ كجم - ق/سم٢ وفي هذه الحالة إذن، سيكون إجهادنا للمادة أقل شيئًا من ثلث حد المرونة الضغطية. ويكون من المتوقع أن عمود الخرسانة سيقوم بالمهمة بما يكفي تماماً.

فنلاحظ من جدول (٣ ١) أن بعض المواد لديها حد مرونة مختلف بالنسبة للشد والضغط، وبالتالي يجب على المهندسين أن يتوقعوا ما إذا كانت المواد التي اختاروها ستكون عرضة لإجهادات شدية أو ضغطية بعد دمجها في منشأ معقد. وأحيانًا يكون من الصعب عمل هذا التقييم، خاصة بالنسبة للمنشآت التي يحتمل أن تتعرض لأنواع شتى من القوى المؤقتة المصاحبة للرياح العنيفة والزلازل، وما أشبه.

ولنلاحظ أيضًا أن كل مادة تتميز "بدرجة قصوى من القوة" قد تكون أو لا تكون مماثلة لحد مرونتها. ويمكن رؤية هذا التمييز فى الرسم البيانى بشكل (٣ ،٤) الذى يمثل العلاقة العامة بين الإجهاد الواقع على عينة من إحدى المواد وتشوه العينة (أى المقدار الذى تمتط به أو تنضغط به). وعند الإجهادات المنخفضة، بصرف النظر عن المادة، يبدأ الشكل البيانى كخط مستقيم، وهذه هى منطقة "السلوك المرن"، حيث تتشوه المادة الصلبة بالإجهاد، ولكنها تعود لشكلها الأصلى عند إزالة الضغط. وحد المرونة هو أكبر إجهاد يمكن لنا تطبيقه قبل أن يحدث تشوه دائم فى المادة. وبعض المواد (مثل الطوب) تتكسر متفككة فى التوّ عند تجاوز حد المرونة، إلا أن مواد أخرى (كالخشب والفولاذ مثلاً) تدخل فى منطقة من "سلوك اللدونة" حيث تصاب بتشوه دائم ولكن بدون أن تنكسر بالفعل. ويمكننا بسهولة عمل بيان عملى لذلك باستخدام شماعة سترة أو مشبك ورق، فعندما نثنى أحدهما قليلاً يرتد ثانية فى فرقعة، ولكن لو ثنيناه لأكثر بكثير مما ينبغى فسوف يحتفظ بالشكل الجديد الذى فرضناه عليه. على أنه سيحدث فى النهاية، مع وجود الإجهاد الكافى، أن ستنكسر أى مادة. وكهدف عملى، فإن "القوة النهائية" هى الإجهاد الذى يحدث فشلاً كليًا.

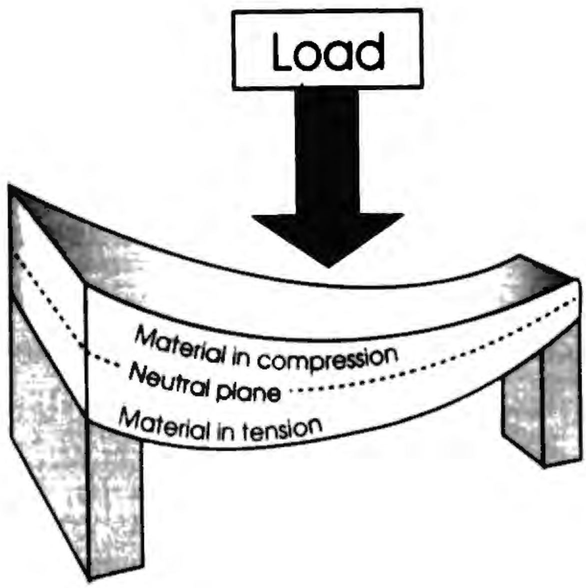
وفى المنشآت، يكون من الضرورى ألا تتعرض أى من المواد لإجهاد يتجاوز حدود مرونتها. وفى الحقيقة، فإنه لعمل حساب الاحتمالات غير المتوقعة من الأحمال، والتلف بمضى الزمن، وما إلى ذلك، تتطلب المعايير الهندسية عادة أن تبقى إجهادات التصميم فى حدود أقل من ثلث حدود مرونة المواد.

ماذا يحدث إذا زادت الأحمال على منشأ بحيث تدفع بعض المواد إلى ما يتجاوز حدود مرونتها؟ إذا كانت المواد الرئيسية ليس لديها مدى لدونة (كالحجر مثلاً) سوف ينهار المنشأ فورًا إلى كومة من الأنقاض. ومن الناحية الأخرى، إذا بقيت الإجهادات فى نطاق مدى لدونة العناصر الإنشائية الرئيسية، سوف يبقى المبنى مائلاً أو هابطًا أو ملويًا بما يجعله غير منتظم، ولكن أجزاءه مازالت كلها مربوطة معًا. ومثل هذه المبانى، سيلزم عادة هدمها فيما بعد، ولكنها ستكون أثناء فترة تهديد الحياة بكارثة قد وفرت لشاغليها فرصة أكبر للنجاة أحياء. وهذا السلوك من لدونة الخشب (إزاء الحجر)

هو الذى يفسر الاختلاف الدرامى فى معدلات نجاة الأفراد أحياء ما بين زلزالى سان فرانسيسكو ومسينا فى عامى ١٩٠٦ و١٩٠٨ .

الانحناء

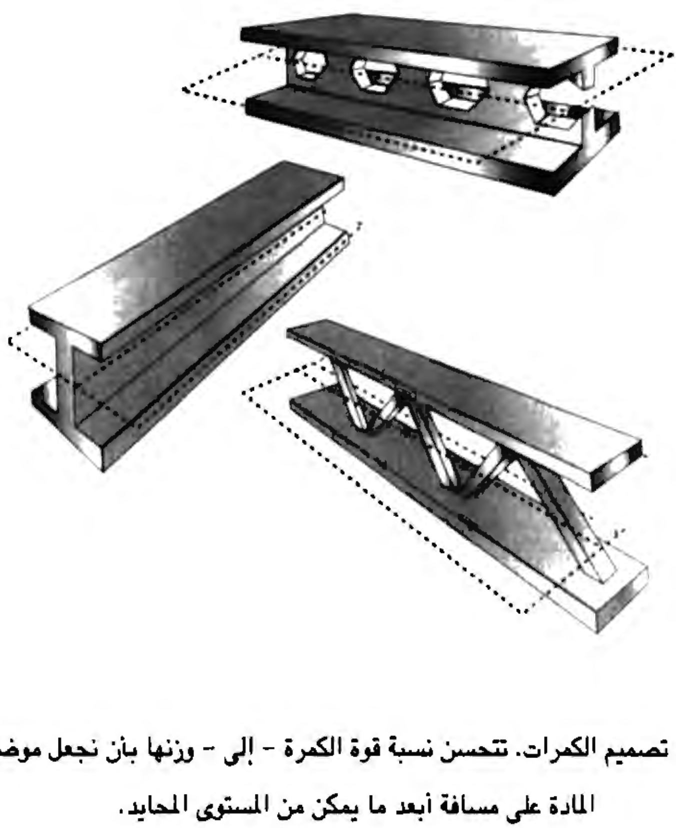
تنتج معظم الإخفاقات الإنشائية عن الانحناء الشديد لعنصر إنشائى حاسم. ويبين شكل (٣ . ٥) كمرة أفقية محملة عند نهايتيها وتحمل حملاً عمودياً قرب مركزها.



شكل (٣ . ٥) انحناء كمرة. المادة على السطح المقعر للانحناء تصبح مضغوطة، بينما تصبح المادة على الجانب المحدب مشدودة

وعندما تنثنى هذه الكمرة، فإن المادة بالقرب من السطح المقعر (الداخل من الانحناء) تصبح مضغوطة بينما تصبح المادة بالقرب من السطح المحدب مشدودة. ويمكننا أن نرى، بل وأن نحس بهذه الظاهرة، عندما تنثنى عصا فوق الركبة.

من الواضح ، أنه عندما تكون إحدى طبقات المادة مضغوطة بينما تكون طبقة موازية مشدودة، فلابد من أن هناك طبقة بينهما حيث المادة لا تتعرض فيها لأى قوة. وهذا السطح البينى ما بين جانب الشد وجانب الانضغاط يسمى "المستوى المحايد" والمادة القريبة من المستوى المحايد لا تقوم فى الواقع بأى دور فى الإسهام فى قوة الكمرة، والحقيقة أننا لو أردنا عمل ثقب فى الكمرة لتمرير ماسورة أو سلك كهربائى، فإن هذا هو مكان عمل الثقب. ومن الناحية الأخرى، فإن النقط الأكثر بعداً عن المستوى المحايد يجب أن تحمل أكبر قوى الشد والضغط. ولهذا السبب نجد أن الكمرات تصمم غالبًا كما فى شكل (٦.٣) بحيث تتخذ أكبر القطاعات العرضية من المادة موضعها على مسافة هى أبعد ما يمكن عمليًا من المستوى المحايد. وفى الوقت نفسه، يمكن إحداث فتحات على نحو مقصود بالقرب من المستوى المحايد، لأن هذا يقلل من



شكل (٣ ٦) تصميم الكمرات. تتحسن نسبة قوة الكمرة - إلى - وزنها بأن نجعل موضع معظم المادة على مسافة أبعد ما يمكن من المستوى المحايد.

وزن الكمرة بدون أن يقلل من قوتها (فالمادة المزالة على أى حال لا تأثير لها). ونحن نلاحظ أيضًا فى هذا الشكل التوضيحى أنه يمكن بناء كمرة من لوحين متوازيين من المادة يربطهما سلسلة من مثلثات خفيفة. ومن الناحية التقنية يسمى هذا النظام "جمالون" (مسنم) ولكن المهندسين غالبًا ما يعدونه ككمرة قد أزيل منها ما لا أهمية له من المادة .

والكمرات جزء جوهرى فى معظم المنشآت، ابتداء من المنازل إلى الكبارى وحتى ناطحات السحاب (التى يمكن النظر إليها على أنها كمرات رأسية ضخمة أحد طرفيها مثبت فى الأرض). من الواضح أن قدرة الكمرة على تحمل الأحمال تعتمد على هندستها وعلى الطريقة التى يقع بها الحمل. على أن ما هو أكثر أهمية، أن قوة الكمرة تعتمد على المادة التى صنعت منها. والكمرة الحجرية مهما كان حسن تصميمها سيكون أداؤها لوظيفتها سيئًا عند مقارنتها بكمرة فولاذية حتى لو كان تصميمها غير كفء .

وإذا عدنا ثانية إلى جدول (٣،١) سنرى أن معظم الأخشاب والمعادن لديها تقريبًا حدود مرونة متساوية سواء من حيث الشد أو الضغط. وهذه المواد ملائمة لصنع الكمرات، لأنها عندما تتعرض للانحناء، يكون جانبا الكمرة المشدود والمضغوط لهما نفس القوة. ومن الناحية الأخرى فإن المواد مثل حديد الزهر، والحجر، والطوب والخرسانة تكون قوتها فى الانضغاط أكبر كثيرًا عما فى الشد (بعامل يتراوح من ٤ إلى ٣٠). والكمرات التى تُصنع من هذه المواد الأخيرة محدودة فى قوتها بسبب ضعف الجانب المشدود عند انحنائها. لنفرض مثلاً أن الكمرة الأفقية فى شكل (٣ . ٥) مصنوعة من حجر جيرى. سوف تسقط هذه الكمرة عندما تتعرض المادة بالقرب من القاع إلى شد من ٢١ كجم - ق لكل سنتيمتر مربع من المقطع الأفقى. وفى الوقت نفسه فإن المادة بالقرب من القمة تكون غير مؤثرة. (على الرغم من أن الإجهاد الفعلى هنا هو تقريبًا الإجهاد نفسه عند القاع، إلا أن مادة القمة لها القدرة على حمل ما يقرب من ٦٣٠ كجم - ق من الضغط لكل سنتيمتر مربع أو ما يقرب من ثلاثين مثلاً). لقد ضاع ما للحجر الجيرى من قوة انضغاط لها قدرها، من حيث إنها لا تسهم بشىء فى تقوية الكمرة ككل .

قد يحاج المرء بأن هذا ليس عيبًا خطيراً، لأنه يمكننا ببساطة أن نجعل الكمرة أسمك وأطول ، أى أن نزيد مساحة المقطع الأفقى وبالتالى نزيد قوة الكمرة. إلا أن هذا المنطق يفشل فى عمل حساب متغير آخر: وزن المادة الإنشائية نفسها. فالمادة التى ضاع تأثيرها فى جانب الانضغاط ليست بلا أهمية: إنها تسهم بقدر مهم من ثقل الكمرة. وهذا الثقل يضيف للإجهادات التى يجب أن يحملها جانب الكمرة المشدود الأضعف. وعندما نتجاوز نقطة معينة، فإن جعل الكمرة الحجرية أكثر سمكًا لا يجعلها مطلقًا أقوى .

ورغم هذا العيب، استخُدمت الكمرات الحجرية الأفقية على نطاق واسع فى الآثار القديمة ولوحظ هذا أكثر عند الإغريق. وإذا زرت اليوم أطلال مبانٍ قديمة كهذه، ستجد عادة أن الأعمدة الرأسية مازالت قائمة إلا أن العتبات العليا الأفقية هى والأسقف قد تحولت إلى قطع من الأنقاض منثورة على الأرض (شكل ٣ . ٧). هل كان البناءون القدماء غير متنبهين إلى العيوب الإنشائية للحجارة عندما تستخدم فى الكمرات الأفقية؟ إن هذا من غير المرجح. ومع كل، فإن تشكيل الحجارة لأغراض البناء أمر يعتمد على القدرة على إحداث إخفاقات قابلة للتنبؤ. ويبين شكل (٣ . ٨) كيف يشق بنّاء الحجر قطعة حجر صغيرة أو طوبة. وتعتمد هذه الطريقة على فكرة، هى باللغة الحديثة، إحداث إخفاق شدى. أما تشكيل الحجارة بواسطة إخفاقات انضغاطية فهو أصعب بثلاثين إلى أربعين مثلاً، ومن المؤكد أن البنائين الإغريق القدماء كانوا متنبهين لذلك.

وحتى يعوض البناءون الإغريق عن ضعف القوة الشدية للحجارة، فقد قصروا استخدامهم للكمرات الأفقية الحجرية على حالات الباع القصير نسبيًا. وكنتيجة لذلك فإن العمارة الإغريقية العامة أصبحت تتميز بأعداد كبيرة من الأعمدة الحاملة التى توضع على مسافات قريبة، ونجدها معًا عند محيط كل مبنى وكذلك فى الداخل منه. و(من المحتمل أن المساحات الداخلية المفتوحة الواسعة كانت وقتها أمراً تجاوز تمامًا تخيلاتهم). وقدرة العمود الرأسى الحامل على تحمل الأحمال من حيث الضغط، ليست بالعامل المقيد، ذلك أننا نرى فى الطبيعة طبقات من الحجارة تحمل جبالاً بأسرها. على أن الكمرات الحجرية الأفقية "لا" توجد فى الطبيعة، وبالتالى فإن المرء هنا يلزم أن يكون حذراً. وقد كان الإغريق حذرين حقًا. ومعظم مبانيهم قد انهارت فقط بسبب



شكل (٣.٧) أطلال إغريقية فى كورينث. الحجر عرضة للإخفاق إذا سمح له بأن يصبح مشدوداً. وهذا المنشأ قد دمره زلزال سنة ٨٥٦ ميلادية وأدى إلى موت ما يقرب من ٤٥٠٠٠ نسمة (صورة للمؤلف)

أحداث وقعت بما يتجاوز تماماً قدرتهم على التخطيط لها. وكانت الإخفاقات فى معظم الحالات ترجع إلى زلازل سببت إجهاداً بالغاً للجانب المشدود لعتبات الحجر التى تحمل الأسقف. ومازال يمكننا الآن أن نتجول خلال هذه الأطلال مبهورين بمشهد ما تبقى. ومعظم العناصر الإنشائية التى صممت أصلاً لتتحمل فقط إجهادات ضغطية مازالت قائمة لزمن استمر لأكثر من أربعة وعشرين قرناً بعد إقامتها.

والخرسانة الحديثة المصبوبة لها خصائص مماثلة جداً لخصائص الحجارة التى استخدمها القدماء، فهى قوية من حيث الانضغاط ولكنها أضعف بما له قدره من حيث الشد. كيف إذن ينجو المهندسون بعد استخدام الخرسانة فى الطرق الأفقية على الجسور، أو فى أرضيات مبانى الشقق عالية الارتفاع، أو التطبيقات المماثلة حيث تتعرض المادة لإجهادات الانحناء؟



شكل (٣.٨) شق طوبة، يبدأ الإخفاق عند السطح المشدود للطوبة ثم ينتقل لأعلى جهة الإزميل غير الحاد نسبيًا. وهذا أسهل بما به قدرة من محاولة إحداث إخفاق بالضغط.

والإجابة هى أن الخرسانة فى مثل هذه التطبيقات لا تقف وحدها. فالكمرة الخرسانية التى يعتمد عليها تتطلب تقوية الجانب المشدود بما يُدفن فيه من أعواد حديد أو شبكة من الأسلاك، توفر القوة الشدية اللازمة. ولو كانت الكمرة التى فى شكل (٣.٥) مصنوعة من الخرسانة، سيكون من الواضح أننا فى حاجة لدفن أسلاك أو أعواد فولاذية قرب القاع أثناء صب الخرسانة. (لو وضع الفولاذ عند المستوى المحايد أو فوقه سيكون بلا تأثير بالكامل). والخرسانة التى تقوى التقوية المناسبة بأعواد أو شبكات الفولاذ عند جانبها المشدود يشار إليها بأنها "خرسانة مسلحة"، بل إن قوة هذه المادة تزداد تحسنًا بمط أعواد الفولاذ الداعمة التى تسلحها وإبقائها مشدودة أثناء صب ومعالجة الخرسانة المحيطة بها. والمادة الناتجة عن ذلك تسمى "خرسانة مسبقة الإجهاد".

ممارسة استخدام البناء بحجارة غير مسلحة للعواميد الرأسية الحاملة، لها تاريخ طويل يتصف عموماً بالنجاح. على أن هذه الأعمدة تفشل بالفعل عندما تتعرض لقوى انحناء أفقية كبيرة: كما يحدث مثلاً فى الجزء الجانبى بالزلازل، أو التأثير الأفقى لأمواج المحيط، أو التيارات السريعة الحركة للفيضانات. وفى المناطق التى يُتوقع فيها أحداث كهذه، سنجد أن الأعمدة الرأسية من الخرسانة المسبقة الإجهاد يمكنها أن تسهم إسهامًا رئيسيًا فى سلامة المبنى. وفى بعض الأجزاء الجنوبية والغربية من الولايات المتحدة تُصنع الآن أعمدة المنافع العامة من خرسانة مسبقة الإجهاد، وهذه الأعمدة من غير المرجح أن تسقط من أى كارثة طبيعية يمكن تخيلها .

مثلثات وعقود

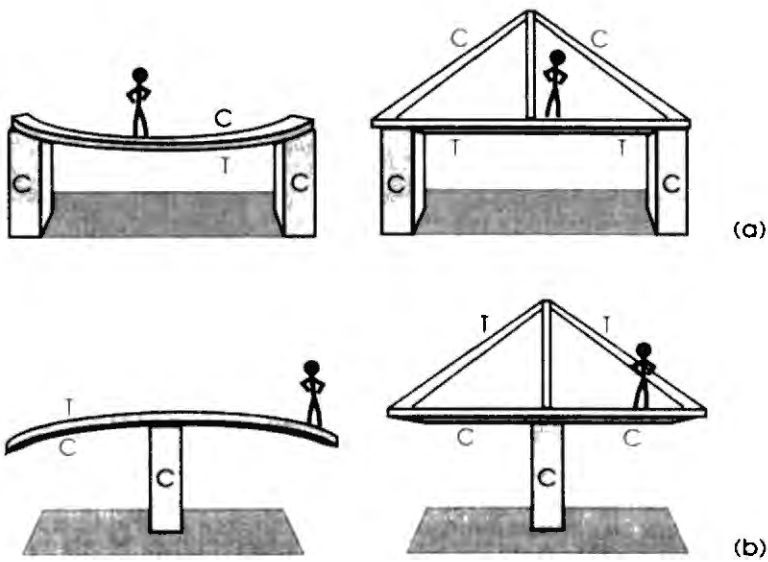
عند تصميم أحد المنشآت، يكون هناك تفاعل حاسم بين خواص المواد المختارة والتشكيل الهندسى الذى يتوقع لها أن تقوم فيه بوظيفتها.

وهناك على وجه الخصوص شكلان هندسيان مهمان إنشائيًا وهما المثلثات والعقود.

والمثلث هو الشكل الهندسى الوحيد الجاسئ جبلّيًا. ونحن نعنى بذلك أن المثلث لا يمكن تشويهه بدون أن نفككه. ومن الناحية الأخرى فإن من السهل تمامًا تشويه مستطيل إلى متوازى أضلاع، أو السداسى إلى سداسى مفلطح، وهلم جرًا بالنسبة لغير ذلك من أشكال المضلعات، وذلك بدون تفكيك هذه الأشكال. وعندما نريد زيادة جساءة مستطيل تكون طريقة ذلك بإدخال المثلثات. ويُستخدم هذا المبدأ حتى عندما يكون المثلث الفيزيقى مما قد لا يبدو ظاهرًا لأول وهلة، وكمثل ، فإنه عند مسمرة لوحين معًا تكون المسمرة عندما ننظم المسامير فى أنماط مثلثة أكثر كفاءة مما لو رتبناها فى خط مستقيم.

وقد استخدمنا هذا المبدأ فى شكل (٣ . ٩) للإقلال من انحراف كمرة أفقية طويلة. دعنا نلاحظ أن جانبى المثلثات يجب أن يثبتا معًا بوتد مكان التقائهما، ولكن ليس من

الضرورى تأمين هذه الأوتاد ضد الدوران. فالأمر ببساطة أنه لا توجد أى وسيلة "يستطيع" بها أى جزء من هذه المثلثات أن يدور، ما بقيت العناصر الإنشائية نفسها سليمة. ولهذا السبب فإن لوائح الإنشاء فى المناطق المعرضة للزلزال والأعاصير تنص على أن تتضمن المنازل شكالات (روابط) مثلثة فى أطرها لزيادة صلابة المنشأة ضد حركات اللوى. وهذا أمر يسهل نسبيًا القيام به.



شكل (٣ـ٩) استخدام المثلثات للإقلال من انحراف كمرة أفقية (أ) كمرة بسيطة محمولة عند طرفيها، ونفس هذه الكمرة فى جمالون. (ب) كمرة بسيطة محمولة عند مركزها ونفس هذه الكمرة فى كابول متزن. العناصر ذات الشد رمزها (ش) وعناصر الضغط (ض).

على أن هناك قضية أخرى يلزم دراستها: أى جانب من المثلثات يكون مشدودًا، وأيها يكون مضغوطًا؟ إذا كنا نتوقع أن يتحمل أحد العناصر الإنشائية شدًا، يمكننا أن نصنعه من عود فولاذ أو حتى من كابل مرن. ولكن إذا كان العنصر سيتحمل ضغطًا، فإن الكابل لن يكون صالحًا على الإطلاق (فهو سيرتخى لا غير، وسرعان

ما ينهار المنشأ). فاختيار مادة لكل جزء وكذلك اختيار أدوات الربط، يجب أن يكونا بحيث يعكس هذا الاختيار ما إذا كان الجزء سيتحمل إجهاداً بالشد أو الضغط.

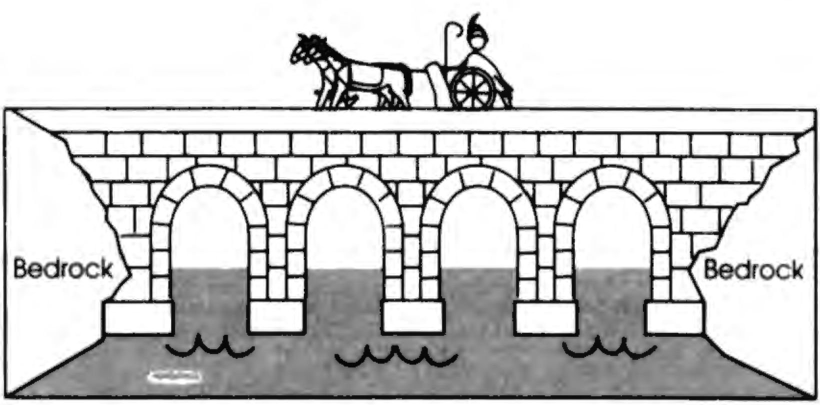
ولحسن الحظ فإن التنبؤ بأى الأجزاء سيكون حقًا فى حالة شد وأيها سيكون مضغوطًا ليس بأمر بالغ الصعوبة. ونحن نرى فى شكل٣.٩ (أ) أن العمود الرأسى عند المركز يجب أن يكون عنصر شد، ذلك أنه يقوم بالدفع لأعلى عند منتصف الكمرة. وإذن فإنه عند القمة لابد وأن نفس هذا العنصر سيَدفع لأسفل (لكل فعل رد فعل مضاد ومساو له)، وبالتالى فإنه يضغط على القطعتين المائلتين. وهذان المائلان بدورهما يدفعان لأسفل وللخارج إزاء الركيزتين. وتصبح الكمرة الأصلية عندها عنصر شد، حيث إنها تحفظ الزوايا السفلى للمثلث من أن تتفكك. وبالطبع تكون الركيزتان فى حالة ضغط. والتشكيل فى شكل ٣ ،٩ (ب) قد يبدو ظاهرياً وكأنه مماثل لذلك هندسياً، ولكنه من الوجهة الإنشائية مختلف تماماً. ذلك أن جانبى المثلث المائلين هما عنصر شد، والعمود المركزى عنصر ضغط، بينما تصبح الكمرة الأصلية عنصر ضغط بمجرد أن تُدفع أفقياً.

دعنا نلاحظ أن إدخال المثلثات لزيادة صلابة أحد المنشآت يدخل دائمًا إلى المنشأ قوى شد وضغط جديدة. وهذه القوى من الشد والضغط يجب عمومًا أن تضاد إحداها الأخرى. وفوق ذلك، فإن المواد المستخدمة يجب أن تتصف بما يكفى من صلابة مرنة بحيث إنه عندما تُدخل أمنا الطبيعة قوة خارجية جديدة (مثلاً رياح عنيفة أو رجفة زلزال) تتمكن القوى المرنة الأصلية من تعديل أنفسها بدون قدر كبير من حركة بنيوية. وليس مما يكفى أن تنتصب مبانينا قائمة، فنحن نريدها قائمة بدون أن تتحرك أو تهتز بقدر كبير.

وعلى الرغم من أن المثلث هو الشكل الهندسى الوحيد الجاسئ جبلّيًا، إلا أن هناك شكلاً آخر يمكن "جعله" جاسئًا إذا تم تحميله التحميل الملائم: إنه العقد. ومازال أهل العلم يجادلون فيما إذا كان اختراع العقد ينبغى أن يرجع الفضل فيه إلى قدماء الرومان أو للحضارات الأقدم. وهذه نقطة نظرية، ذلك أن الرومان كانوا أول من استخدموا العقد فى الإنشاءات ذات المقياس الكبير، فبرهنوا بذلك على ثقتهم فى

التنبؤ بكيفية سلوك هذا العنصر الإنشائى على المدى الطويل، وهناك الكثير من العقود لقنوات المياه والجسور وشبكات المجارى، كلها مازالت تقوم بوظيفتها بعد تعرضها لقوى الطبيعة طيلة عشرين قرنًا، وأحد الأمثلة الكثيرة العظيمة لذلك هو جسر بونت دى جارد فى نيمس (جنوب فرنسا)، الذى يمتد باعه عبر وادٍ من ٢٥٠ مترًا (٨٠٠ قدم) فى صفوفه ثلاثة من العقود يبلغ ارتفاعها ٤٧ مترًا (١٥٥ قدمًا). بنى جسر بونت دى جارد سنة ١٤ ق.م. باستخدام الحجارة المقطوعة وبدون ملاط. وعلى الرغم من أنه الآن لا يحمل أى مياه (وكانت هذه وظيفته الأصلية) إلا أنه مازال يستخدم حتى الآن كجسر للمشاة .

وكما يظهر فى شكل (٣. ١٠) فإن العقود الرومانية نصف دائرية ومبنية بحجارة غير مقواة. وعلى الرغم من أن الملاط قد استخدم أحيانًا بين الأحجار، إلا أن هذا لم يكن يزيد عن طبقة رقيقة من الجير والرماد البركانى ليس لها واقعيًا أى قوة شد، وبالتالى فإن تأثيرها قليل فى سلامة المنشأ عمومًا. والأولى أن العقد يستمد قوته من توليفة مدهشة من ثلاث عوامل فيزيائية:



شكل (٣ ، ١٠) سلسلة من العقود الرومانية. لتوقى أى انهيار، يجب أن يبقى كل جزء من أى عقد فى حالة ضغط

١- الحجر ثقيل جداً، و٢ - ثقل قطعة الحجر التى تُشكل التشكيل المناسب ينقل إجهاد الضغط إلى الأحجار التى تقع أسفله، و٣ - الحجر قوى جداً عند تعرضه

لإجهادات بالضغط. وإذا صمم عقد بحيث لا يحدث أبداً لأى جزء فيه أن يصبح فى حالة شد، فإن المنشأ سيظل قائماً لآلاف السنين، حتى تأخذ مادة الحجارة نفسها فى التآكل إلى تراب.

وتصميم العقد أمر بسيط تماماً، فعلينا فحسب أن نقطع كل حجر من أحجار العقد بحيث يكون شكله كالإسفين إلى حد ما، ويكون جزؤه الأعرض لأعلى. وعندها لا يمكن أن تنزلق قطعة حجر من نصف الدائرة المتصل، وتحفظ كل قطعة حجر جاراتها فى مكانها. إلا أن عملية البناء الفعلى يكون فيها بعض مزيد من التحدى، لأن العقد لا يصبح داعماً لذاته إلا بعد أن توضع آخر قطعة حجر فى مكانها. وقطعة الحجر الأخيرة هذه، كثيراً ما يشار إليها على أنها حجرالتاج، وهى عادة قطعة الحجر المركزية. وحتى يتم وضع حجر التاج، يجب تحميل العقد على ساند خشبى مؤقت. والاحتياجات العملية لتركيب هذا الساند المؤقت كان فيها تحدٍ من حيث المسافة التى يحاول الرومان أن يمتد بها باع العقد الواحد: فكان من الأسهل كثيراً (والأكثر أمناً بلا شك أثناء عملية الإنشاء) أن يقام جسر عبر أحد الوديان باستخدام سلسلة من العقود الصغيرة بدلاً من عقد واحد شامل. ولهذا السبب نرى الإنشاءات الرومانية وقد تميزت بأعداد مذهلة من العقود المتتابعة، والتى كثيراً ما تحمل المزيد من العقود من فوقها، وأحياناً يعلوها أيضاً صفوف إضافية من العقود.

الثقل المحمول على مركز أحد العقود ينقل دفعة ضغط للخارج إلى أعمدته التى تحمله، وإذا أدت هذه القوة إلى انحناء العمود حتى ولو قليلاً، فإن العقد سينهار سريعاً. وعند وجود سلسلة من العقود المتماثلة، كل منها مستند على العقد التالى، فإن هذا يخلق مشكلة فقط عند آخر عقد فى كل طرف. وبالطبع، فعندما ينهار بالفعل العقد الأخير، يصبح العقد المجاور هو العقد الأخير الجديد وسوف يتواصل الإخفاق من خلال المنشأة بوتيرة انهيار قطع لعبة الدومينو. ولكن الرومان هنا لهم حلولهم المبتكرة. فهم فى جسورهم وفى قنوات المياه المرفوعة، كانوا دائماً يبنون العقد الأخير عند كل طرف من طرفى المنشأة بحيث ينقل دفعة الضغط الخارجية على طبقة صخر الأديم (شكل ٣ . ١٠). أما فى المدن فكانوا يبنون المنشآت ذات العقود إما بأعمدة رأسية جد ضخمة (كما فى عقد تيتوس فى روما الذى بُنى سنة ٨١ ميلادى ومازال قائماً)،

وإما أنهم كانوا يستخدمون تصميم أرضية دائرية أو بيضاوية (كما فى الكوليزيوم(*) فى روما)(١٠) والدوائر والبيضاويات التى ليست لها أطراف شاردة.

بعد الرومان بألف سنة، أدخل بنَّاءو الكاتدرائيات القوطية بأوروبا الغربية تحسينًا هائلاً على العقد. وكان التحدى الخلاق الذى واجههم هو زيادة ارتفاع وانفتاح المساحة الداخلية مع العمل فى الوقت نفسه على تعظيم حجم النوافذ. ولما كان زجاج النوافذ لا يستطيع تحمل ثقل عمودى، فإن الجدران ذات النوافذ الكبيرة لا تسهم كثيراً فى دعم المنشأة. وكان ابتكار البنَّائين هنا هو العقد القوطى، عقد مرتفع شديد الانحدار محمول على أعمدة رأسية ضيقة، مع "زافرات"(**) داعمة لتحمل دفعة الضغط الخارجية من جدران المنشأ وعقوده الطرفية. والسائحون، حتى من كان منهم من الأزمنة الحديثة عندما يخطون داخل كاتدرائية قوطية من العصور الوسطى، ينبهرون عادة فى رهبة من طريقة استخدام كم الحجارة فى هذه الأبنية الفخمة، فهو كم يعد قليلاً بالنسبة لمساحتها الداخلية الواسعة المفتوحة. ومن الواضح أن معمارِيِّى العصور الوسطى كانوا علماء جد بارعين، لأنهم فهموا وتنبأوا بنجاح بأنه فى كل جدار وعقد فى هذه الكاتدرائية الهائلة، وكذلك فى كل وصلة حجرية فيها، ستظل كل قطعة من الحجر باستمرار فى حالة ضغط إلى ما لا نهاية فى المستقبل. وهذا حقًا ما قامت بأدائه تلك الآلاف من قطع الحجارة، بدون أن تتعرض أبداً لقوة شد طيلة الثمانمائة عام الماضية.

العقد القوطى ارتفاعه أكبر من عرضه، ولكنه يمكن أن يُبنى بأى عرض نشاء إذا كنا عازمين على أن نرتفع به الارتفاع الكافى. وبالمقارنة سنجد أن العقد الرومانى المنخفض كان فيه إسراف بالغ فى استخدامه للمواد، بالنسبة للمساحة التى يحيط بها وبالنسبة للحد الأقصى من حمل الضغط الذى يمكنه أن يتحمله عند أضعف نقطة فيه (أى مركزه). ومن الواضح أن المعمار القوطى كان متفوقًا فى هذه النواحى، وانتشر هذا المعمار خلال كل أوروبا فى العصور الوسطى، حتى ولو كان البناء هكذا يستهلك الوقت أقصى استهلاك (كثيراً ما كان بناء كنيسة كبيرة واحدة يستغرق ثمانين عاماً).

(*) الكوليزيوم : مدرج للحفلات العامة فى روما القديمة (المترجم) .

(**) زافرات : نصف قطرة يدعم بها جدار (المترجم).

والمبانى القوطية الأصلية الباقية للآن مازالت تمثل حدود ما هو ممكن إنشائيًا عندما تُستخدم فحسب حجارة للبناء غير مقواة.

ولسوء الحظ، فإننا لا يمكننا أن نعتمد على المنشآت الحجرية لمواجهة الزلازل، مهما كانت روعة هذه المنشآت. والحقيقة أن عقود الحجارة غير المقواة عندما تكون خفيفة (أى عندما تجسد الهندسة القوطية بدلاً من الرومانية)، فإننا عندها يمكننا بالفعل أن نكون "أقل" ثقة فى أنها ستظل باقية بعد حدث جيوفيزيائى كبير. فلن يحتاج الأمر إلا لحجر واحد ينزلق من أحد العقود ليبدأ انهيار كامل. وعندما يقل الثقل الذى يُبقى حجارة العقد منضغطة، يكون من الأرجح أن تؤدى دفعة جانبية إلى إحداث فشل شدى عند إحدى الوصلات مع فقدان قطعة حجر. وقد نتج الكثير من الوفيات فى زلزال لشبونة الرهيب عام ١٧٥٥ (الذى ناقشناه فى الفصل الأول) عن مثل هذه الانهيارات فى العقود والأقبية القوطية الحجرية غير المقواة فى الكنائس والكاتدرائيات.

وعلى الرغم من أن مبدأ العقد قد استُخدم فى الكثير من الجسور الرائعة (كما فى الجسر الجديد لنهر جورج بفرجينيا الغربية الذى يحمله عقد فولاذى يمتد باعه لقرابة ٥١٨ مترًا "١٧٠٠ قدم")، إلا أن أكبر وأقوى العقود هى تلك التى بنيت لتستقر على جانبيها وتحجز وراءها خزانات مياه هائلة. وأوسع السدود ذات العقود يزيد عرضها على الكيلو متر الواحد وأعلاها يصل ارتفاعه إلى ما يبلغ ٣٠٠ متر، وأحدها فى كندا يحجز ١٤٢ بليون متر مكعب من المياه (ما يساوى حوالى ١٠٪ من حجم المياه فى بحيرة إيرى(*). والمطالب الإنشائية للسدود تفوق بأضعاف عديدة مطالب أى منشآت أخرى يصنعها الإنسان، والنتائج المحتملة بالنسبة للبشر عند فشل سد كبير يمكن أن ترعب أى خيال. وحقيقة أن السدود الحديثة سدود يُعتمد عليها كل الاعتماد فيها شهادة بأن الكثير من الدروس التى مررها لنا الرومان مازال المهندسون المدنيون فى زمننا الحالى يأخذونها مأخذًا جديًا.

(*) بحيرة إيرى : إحدى البحيرات العظمى الهائلة المساحة فى أمريكا الشمالية (المترجم).

جونستاون، بنسلفانيا ١٨٨٩

سقطت في مايو من عام ١٨٨٩ أمطار بكميات قياسية زادت مياه وادى نهر كونمو الذى كانت غاباته قد مُحيت في جزء منها، وهذا الوادى يقع أعلى التيار من مدينة صناعية صغيرة تُدعى جونستاون عدد سكانها ٢٨٠٠٠ فرد. ولو كان كونمو نهراً ينساب في حرية لارتفع مستواه بما يكفي لأن يفيض على جزء من ضاحية الأعمال في جونستاون، فيتلف الطوابق السفلي لمئات قليلة من البيوت، ويجعل جسوراً عديدة غير صالحة للمرور، ويوقف عمل بعض الخدمات والمرافق العامة. وستحدث وفيات قليلة، إن حدث أى منها، ذلك أن الفيضانات في هذه المنطقة تتيح عادة للأفراد المترقبين الوقت الكافى للفرار إلى أرض أعلى. والحقيقة أن المقيمين فى جونستاون قد تعلموا منذ زمن طويل أن يتوقعوا فيضانات مزعجة تحدث تقريبًا في كل ربيع، ذلك أن نهر كونمو وروافده كانت قد فاضت بمستويات عالية بالذات فى أعوام ١٨٠٨ و١٨٤٧ و١٨٧٥ و١٨٨٠ و١٨٨٥ و١٨٨٧ و١٨٨٨، وفيضان سنة ١٨٨٩ كان من المحتمل أن يكون أسوأ قليلاً من هذه الفيضانات الأقدم لولا أن يد الإنسان قد حولت هذا الحدث إلى كارثة كبرى. وكان عامل زيادة الخطورة هنا هو سد لم يقم بمهمته .

كان هذا أسوأ فشل مدمر من سد فى الولايات المتحدة، وقد ارتبط الأمر بمنشأ لو كان فى زمن قدماء الرومان لأدى بهم حذقهم إلى "عدم" بنائه [11]. لم يكن للسد عقود، ولم يكن ينقل حمله إلى طبقة من صخر الأديم، ولم يكن حتى مبنيًا من الحجارة. وقد بُنى سد "التفرع الجنوبى" أصلاً ليوفر الماء لجزء من قناة بنسلفانيا فى موضع عند التفرع الجنوبى لنهر كونمو على بعد ٢٢ كيلو متراً (١٤ ميلاً) أعلى التيار من جونستاون. وكان هذا السد منشأ ترابياً عرضه ٢٦٠ متراً (٨٥٠ قدماً) وارتفاعه ٢٤ متراً (٨٠ قدمًا)، ويحجز بحيرة طولها نحو ٥ كيلو مترات وعرضها ما يقرب من كيلو مترين. وقد فشل السد أصلاً فى عام ١٨٤٧ عندما كان لا يزال تحت الإنشاء، وأدى ما نتج من سيل فى ذلك الحين إلى شق قناة فى جونستاون، وبعد إكمال السد فى عام ١٨٥٢، أصبحت وظيفته الأصلية وقد عفا زمنها خلال عقد واحد حيث حلت السكك الحديدية مكان القنوات. وبحلول عام ١٨٨٩ كانت العيوب الأساسية فى تصميم هذا المنشأ قد

زادت خطورة بسبب إهمال الصيانة خلال عشر سنوات من امتلاكه ملكية خاصة لنادى التفرع الجنوبى للقنص ولصيد السمك، وهو نادٍ يتألف من مجموعة خاصة من مليونيرات بيتسبرج. وكان ثمة قناة مفيض قد سدتها شبكة صُممت لمنع السمك من الهرب، وأزيلت مواسير كانت قد وُضعت أصلاً لتتيح تنظيمًا مستقلاً لمستوى المياه (وهذه إستراتيجية أرخص من العمل فى إصلاح المواسير وصيانتها)، وسُمح لصدر السد بأن يهبط لمستوى أقل من أكتافه. كان الفشل مما يمكن التنبؤ به، لا من حيث تاريخه ووقته بالضبط، ولكن بالنظر إلى ما كان مؤكدًا من الناحية الإحصائية من أنه إن آجلاً أو عاجلاً سوف تغرق المنطقة حتمًا فى أمطار ثقيلة سيفوق تصريفها سعة مفيض السد .

عندما بدأ انهمار المطر الغزير فى ٣٠ مايو ١٨٨٩، كان المطر قد ظل مستمرًا قبلها لأحد عشر يومًا فى ذلك الشهر. ولم تستطع التربة المشبعة فى الغابات المحيطة أن تحتجز أى مزيد من المياه، وبالتالى انساب المطر فى الجداول والأنهار. وقرب الظهيرة من يوم الثلاثين أخذ الكثيرون من السكان الأكثر ترقبًا فى جونستاون والقرى أعلى التيار فى إخلاء المناطق المنخفضة، ولو لم يفعلوا ذلك لزادت قائمة الموتى كثيرًا جدًا. وفى أعلى التيار كان مفيض سد التفرع الجنوبى أصلاً غير كافٍ وفيه انسداد، ثم أصبح مسدودًا بالكامل بحطام الفيضان ، وارتفعت مياه البحيرة الصناعية حتى غطت صدر السد. وفى يوم ٣١ مايو بعد الساعة الثالثة عصرًا بدقائق معدودة انفجر السد وانبعث منه صدر موجة مرعدة ارتفاعها ١٥ مترًا (٥٠ قدمًا) مندفعة إلى النهر الممتلئ من قبل. واستغرق الأمر قرابة ٣٦ دقيقة لتفرغ البحيرة من المياه، وطوال هذه الدقائق الست والثلاثين تدفقت طاقة المياه إلى الوادى بأسفل فى سرعة تشبه تدفق الطاقة عند شلالات نياجرا(*) .

اقتلعت الموجة العملاقة فى أول لحظاتها آلافًا من الأشجار وطحنتها عنيفًا لتتحول إلى زوبعة جانحة من شظايا الخشب واندفعت حافة هذه الموجة المتقدمة

(*) شلالات نياجرا من أكبر وأقوى الشلالات فى العالم وهى على الحدود بين كندا والولايات المتحدة (المترجم).

مدمرة الغابات والقرى الأبعد من أسفل التيار. ووصلت سرعة الموجة فى أجزاء الوادى المستقيمة الشديدة الانحدار إلى ١٠٠ كيلو متر فى الساعة (٦٠ ميل/ساعة)، بينما انخفضت فى المنحنيات الحادة الأكثر ضحالة إلى نحو ١٥ كيلو مترًا فى الساعة (١٠ ميل/ساعة). (وحسب بعض المراقبين فإنها ربما كانت أحيانًا تكاد تتوقف). ولما كان قاع الموجة يؤخره الاحتكاك بينما القمة لا تتأخر، فإن هذه الموجة الهائلة من الفيضان لم تكن تتقدم فى شكل جدار من المياه وإنما الأحرى أنها كانت بمثابة كسارة صخر تهوى فى هياج كالشلال. فكانت تسحق الضحايا لأسفل بدلاً من أن تجرفهم أمامًا ولأعلى. وهذا ليس بنوع الفيضان الذى قد يسمح لأى فرد بأن يسبح ناجيًا .

وعلى بعد أميال معدودة أسفل التيار كان يقف جسر كونيو، وهو جسر كبير متين من حجر معقود. وتزاحم الحطام هناك عاليًا، ليشكل سدًا مؤقتًا تتسرب منه المياه يبلغ ارتفاعه ٢٢ مترًا (٧١ قدمًا)، وهذا ارتفاع يقارب نفس ارتفاع السد الذى تفجر. ولو كان الجسر قد بقى هكذا، لربما لم تتعرض المدن أسفل التيار إلا لتزايد متواضع للمياه التى تتعالى. ولكن وللأسف، على الرغم من أن مهندسى الجسر قد خططوا للفيضانات فى تصميمهم، إلا أنهم لم يتوقعوا مثل هذه المجموعة بالذات من الظروف المتطرفة. ولم يتماسك الجسر إلا لدقائق معدودة. وإذ تداعى المنشأ، انطلقت موجة الفيضان أمامًا وقد تجدد عنفوانها ومسحت بالكامل قرية مينرال بوينت، محطمة ٣٠ منزلاً ومصنعًا للأثاث. ثم اندفعت منفجرة عبر منعطف نصف دائرى لتعيد نحت مجرى النهر، وتُعمل التمزيق فى إيست كونمو حيث ألقت بعيداً بقطارات سكك حديد بأكملها وبثلاثين قاطرة بخارية. وكان يلى ذلك أسفل التيار قرية وودفيل حيث اكتُسح بالكامل ٢٥٥ بيتًا من أساساتها ومعها مدبغة جلود وحظيرة عربات ترام يأوى داخلها تسعة وثمانون حصانًا. وعندما ارتطم الماء بمصانع الأسلاك فى جوتير انفجرت فى التو الغلايات والأفران وأدت إلى "سحابة موت" متلاطمة من السناج والرماد انضمت إلى صدر الموجة الطاحنة، ومعها أسلاك شائكة متشابكة يبلغ طولها الكثير من الأميال .

ومع اندفاع هذه الكتلة الهاوية من الحطام وهى ترعد لتدخل جونستاون فإنها أخذت بدون تمييز تطحن وتكسح بعيداً معظم الإنشاءات البشرية فى طريقها. وسحقت أجساد البشر والحيوانات فى الزبد، بل إن عربات السكك الحديد كانت تنقذف فيما حولها وكأنها كرات قدم، وفى دقائق رهيبة معدودة لا غير تم تدمير آلاف من المنازل ومقارّ الأعمال، ولقى الآلاف حتفهم. وفى النهاية أصدرت الإحصاءات الرسمية قائمة فيها ٢٢٠٩ من الموتى المتعرف عليهم، و٩٦٧ من المفقودين. وإذا سرت اليوم خلال مدافن جونستاون لن يفوتك أن تلاحظ تاريخاً معيناً يتكرر فوق شواهد القبور: "مات فى ٣١ مايو، ١٨٨٩" وفى أحد أقسام جبانة جراند فيو نصب تذكارى كبير من الجرانيت كُرس للموتى المجهولين، ومن ورائه ٧٧٧ من الشواهد البيضاء الرمرية الصغيرة بلا أسماء .

وكنتيجة للانقضاض المباشر للموجة لم يظل باقياً من المنشآت التى صنعها البشر سوى منشأ واحد فقط، ومن المفارقة أن بقاء هذا المنشأ قد أسهم بالفعل فى هول الكارثة. وهذا المنشأ هو جسر للسكك الحديد عند الطرف السفلى للمدينة، وقد بُنى كسلسلة من سبعة عقود منخفضة نصف دائرية، ولو كانت فى روما القديمة لبدت وكأنها تماماً فى موطنها. وعندما ألقت الموجة الراعدة بحطامها على هذا الجسر، فإنه مرة أخرى شكل سداً، تماماً مثلما حدث للجسر أعلى التيار، على أن كل عقد منفرد هنا كان أقصر كثيراً من الباع وأثقل، فهذا منشأ قد بُنى بطريقة متحفظة جداً (قد يصفها بعض المهندسين بعدم الكفاية فى استخدامها للمواد)، وهكذا ظل الجسر قائماً. وعلى الرغم من أن شركة حديد كامبريا والكثير من المنازل أسفل التيار من الجسر الحجرى قد دمرها ذلك الجزء من الموجة الذى اعتلى الجسر، إلا أن ما دُمر دماراً كاملاً من هذه المنشآت كان عدده قليلاً نسبياً.

ولسوء الحظ، على الرغم من أن الجسر الحجرى قد أنقذ البعض، إلا أنه أيضاً قد فاقم من الكارثة بالنسبة لآخرين كثيرين. فعندما يحدث انسداد مفاجئ لتيار سريع

الحركة يكون لذلك دائماً مضاعفاته، ولعلك قد لاحظت ظاهرة "مطرقة الماء" وهي ظاهرة على نطاق أصغر كثيراً تحدث عندما ينغلق فجأة الصمام اللولبي لماكينة الغسيل. وعندما أغلقت بعنف عقود الجسر الحجري مرتطمة بالحطام الذي يمتطي صدر الموجة، ارتدت موجة الفيضان للخلف أعلى النهر ودخلت رافداً قريباً اسمه ستوني كريك (الجدول الحجري) حيث اكتسحت بعيداً مساكن أكثر في مدينة كيرنفيل. ووصلت هذه الموجة المنعكسة في بعض الأماكن إلى ارتفاع قد يبلغ ٣٠ متراً (١٠٠ قدم) أي ما يقارب ضعف الموجة الأصلية.

ومازال هناك المزيد. ففي أعلى التيار من الجسر الحجري كان النهر مغطى بصفحة من الأشجار الطافية، وبقايا المنازل المسحوقة والكثير من الإنشاءات السليمة جزئيًا التي انتُزعت من أساساتها. وبينما كانت مياه الفيضان تتدفق من فوق ومن خلال الأخشاب الطافية المتشابكة عند الجسر، أخذ الحطام المحبوس يتراكم لأعلى وأعلى. ومن الواضح أن بعض الضحايا أمكنهم النجاح في الخروج بتسلق هذا الكوم من الحطام. إلا أن هذا الكوم العملاق من شظايا الخشب اشتعلت فيه النيران، ولعلها اندلعت من موقد انقلب في طابق علوي من واحد من المنازل الكثيرة التي امتطت مياه الفيضان إلى الجسر، أو لعلها زادت اشتعالاً بالزيت الذي تسرب من حطام عربات خزانات السكك الحديدية. ومع أن المطر ظل مستمراً، إلا أنه كان هناك مقدار كبير من الوقود الجاف في هذا الكوم الهائل يكفي لاستمرار حريق رهيب، ظل مستمراً بلا تحكم لأيام عديدة (شكل ٣ . ١١). ومن هنا كان التخمين بأن الكثيرين من المفقودين – أولئك الذين لم يمكن قط استعادة جثثهم – قد هلكوا في هذا الحريق الهائل المروع عند الجسر الحجري. وبعد أن تراجعت مياه الفيضان وانخمدت النيران في النهاية، اضطر عمال التنظيف إلى اللجوء للمفرقعات للتخلص من الحطام المتشابك المتفحم عند الجسر حتى يعود مجرى التيار.

تدفقت المعونات من كل البلاد، ولكن مجموعة "رؤساء الصناعة" قدموا إسهامات متميزة نسبياً، فقدم أندرو كارنيجي عضو النادي الذي يمتلك السد مبلغًا،

قـدره فـحسب عشرة آلاف دولار باسم شركته للصلب، في حين لم يسـهم بأى شىء على الإطـلاق ثلاثون من أعضاء النادى الذين كان عددهم الواحد والستين .



شكل (٣ . ١١) الكارثة عند الجسر الحجرى في جونستاون. كما رسمت في ١٨٨٩ بالطباعة على الحجر.

وفى النهاية حكمت محاكم بيتسبرج بأن الكارثة من صنع الله، وأن نادى التفرع الجنوبى للقنص وصيد السمك هو وأعضاؤه ليس عليهم أى مسئولية قانونية لما حدث من دمار أو فقدان للحياة. وكان مما أثار بالذات حنق من نجوا أحياء، والكثير منهم قد فقدوا كل ما يملكونه ويحبونه، حقيقة أن السد لم يكن مفيداً في أى هدف وظيفى سوى توفير الاستجمام لمجموعة خاصة مخصوصة من الأعضاء ، وهذا الوجدان الغاضب قد استوعبته قصيدة معاصرة يكثر الاستشهاد بها، كتبها من يُدعى إيزاك ريد:

آلاف كثيرة من حيوانات البشر

أزواج مذبوحون، زوجات منحورات
بناتهم المشوهات، وأبناؤهم النازفون،
حشود من الصغار الشهداء،
(أسوأ من جريمة هيرود(*) الرهيبة)
كلهم أرسلوا للسماء قبل الأوان،
احترق الأحباء وغرق العشاق،
وضاع أعزاء ولكن أحداً لم يجدهم قط!
إنها كل الأهوال التي يمكن
للجحيم أن يتمناها،
هكذا كان الثمن قد دُفع من أجل - السمك!

لم يعاود أحد أبداً بناء السد، وتخلص النادي من ممتلكاته ببيعها. ومازال قائماً هناك قلة من منازل الأعضاء الأصليين للنادي، هي ملكية خاصة، ويستطيع المرء أن يتناول غذاءه في مطعم في مبنى النادي السابق، الذي يمتلكه الآن جمعية تاريخية محلية. وتقوم هيئة خدمة الحدائق القومية برعاية حديقة تذكارية ومتحف يحوي موضع السد الفاشل، الذي مازالت أكتافه باقية.

يطرح فيضان جونستاون درساً عميقاً: المعرفة في حد ذاتها لا تضمن الممارسة الهندسية السليمة. وفي عام ١٨٨٩ كان كل الفرقاء المطلعين متنبهين تماماً إلى أن سد التفرع الجنوبي سد غير آمن، بل وحتى تكنولوجيا الرومان القديمة كان في إمكانها أن تخلق منشأ أكثر أماناً (كما أكد ذلك فيما تلا بقاء الجسر الحجري لجونستاون). ولكن المعرفة وحدها لا تضمن وجود سلطة للفعل، أو إجبار الآخرين على الفعل. ولم يزد سد التفرع الجنوبي على أن يكون أحد الممتلكات التي يستجم فيها أصحابها في نهاية

(*) حاكم الجليل ٤ - ٣٩ ميلادية ، قيل إنه أمر بقتل كل مواليد اليهود عقب نبوءة بضياع ملكه بسبب واحد منهم هو المسيح (المترجم).

الأسبوع، ولما كان أعضاء النادى بعضاً من النخبة فقد كانوا إلى حد كبير معزولين عن مشاعر القلق التى رددها طيلة سنوات شتى من كانوا يسكنون أسفل التيار. وأعضاء النادى ليسوا بالضرورة أفراداً أشراراً (وإن كان من المؤكد أن بعض الكبار قد أساءوا وضع الأوليات)، والتوصيف الأفضل هو أن معظم الأعضاء كانوا جاهلين بالمبادئ الفيزيائية، وجاهلين بالممارسات الهندسية السائدة، أو جد مشغولين بأنشطة أخرى مما لا يتيح لهم تأمل النتائج البشرية المحتملة لإخفاق سدهم. كانوا أساساً غير متنورين بالمعلومات، وكانوا بسبب عزلتهم غير قابلين للتنور بالمعلومات .

لم يعد أحد يستطيع الآن أن يبنى أو يمتلك سداً خاصاً فوق مجرى مائى عام. وحتى يبنى المرء سداً فى الولايات المتحدة، حتى ولو لجدول صغير فى ممتلكات خاصة، فإن هذا يتطلب دراسات لتأثيره فى البيئة، وجلسات استماع، ورخص، ومراجعات هندسية، وما يترتب من التفتيشات. وهذا الكيان من القوانين الحكومية قد نشأ كاستجابة للسجل التاريخى من الحوادث التى أُفترض فيها أن الأفراد والمجموعات الخاصة سيرعون المصالح العامة. ولكنهم فى الحقيقة فشلوا فى القيام بذلك. أما أولئك الذين يشكون مما يحدث الآن من "مبالغة" فى القوانين الحكومية، فإنهم يفقدون كل مصداقيتهم لو تجاهلوا الكوارث التاريخية التى تفاقمت نتيجة غياب هذه القوانين. إن فيضان جونستاون فى عام ١٨٨٩ يظل قائماً كمثل رئيسى لا يُنسى.

وصلات وأدوات ربط وأساسات

قوة المواد لا تضمن وحدها سلامة المنشأة ، والحقيقة أن من الجائز جداً أن ينهار بناء أو جسر وإن كان كل عنصر إنشائى فردى يظل سليماً. ولضمان ثبات أحد المنشآت، يجب أن يوجه مصمموه اهتمامهم إلى قضيتين إضافيتين: ١- كيف تتماسك قطعه معاً؟ و٢- ما الذى يمسك البناء بالأرض؟ بالنسبة للمنشآت الصغيرة ذات الإطار الخشبى نجد أن أكثر وسائل الربط شيوعاً هو المسمار المتواضع. والمسامير تظل فى تماسك جيد بما هو معقول، بشرط أن تبقى منضغطة و/أو أن تُجز بالأحمال التى على

المبنى. على أن هناك طريقة واحدة "لئلا" يتماسك المسمار: وهى أن نشد فى عكس الاتجاه الذى دفع فيه المسمار، وبهذا فإننا نشد المسمار للخروج ثانية فى التو. وهذا فى الحقيقة هو السبب فى أنه يحدث كثيرًا أن تضيع الأسقف فى الرياح العنيفة، وعلى الرغم من أن السقف فى معظم الوقت يكون محملاً لأسفل على باقى المنشأة، إلا أن الرياح العنيفة يمكنها أن تعكس هذا الاتجاه وتشد عناصر السقف "لأعلى". والمسامير وحدها لا فعالية لها فى توقى هذا النوع من الفشل .

وحتى يمكن التكيف مع الانعكاسات المحتملة فى اتجاه التحميل خاصة فى المناطق المعرضة للأعاصير فإن "لبش" (حصائر) السقف وغيرها من أخشاب الأطر ينبغى تربيطها باستخدام أحزمة ربط وكتيفات معدنية، و/أو بواسطة تخريم ثقوب خلال العناصر المتداخلة وربطها معًا بصواميل تُسلك فيها ومعها وِرد. وبالإضافة، فإن الدعم بمثلث يمكن أن يكون فعالاً تمامًا فى الإقلال من الانحناء الجانبى ومن أحمال اللوى على وصلات المنشأ. وهذه التكنيكات مهمة بالذات عند البناء فى المناطق الساحلية أو فى سهول الفيضان الداخلية، ذلك أنه عندما يدمر الفيضان أحد المنشآت فإن ما يفشل عادة هو الوصلات والروابط.

وتصميم الوصلات أشد خطورة فى حالة المنشآت الأكبر التى من الخرسانة والفولاذ. وتتعرض الجسور، والطرق العلوية، والمبانى المرتفعة إلى حركة لها قدرها بسبب الرياح، والهزات الأرضية. (وكمثل فإن الباع المعلق الطويل كما فى جسر جولدن جيت(*) (البوابة الذهبية) يمكن أن يتأرجح جانبيًا بقدر ٤,٥ متر (١٥ قدمًا) فى أحد الأيام العاصفة)، والأدوار العلوية فى ناطحات السحاب قد تتحرك بما يصل إلى متر واحد (٣ أقدام). ولنتذكر أن مثل هذه المنشآت يلزم أن تتحرك قليلاً، لأن مرونتها هى التى تتيح لها التكيف لظروف التحميل المتغيرة. وفى نفس الوقت يجب أن يتاح للمنشآت الكبيرة أن تتمدد وتتكمش بتغيرات الحرارة، وإذا لم يحدث لها ذلك فإن الإجهادات الناتجة يمكن بسهولة أن تتجاوز حد المرونة للفولاذ والخرسانة. وكمثل، فإن

(*) من أكبر الجسور المعلقة فى العالم وهو فوق خليج سان فرانسيسكو بالولايات المتحدة (المترجم) .

الجمالون الفولاذى الذى يبلغ ١٥٠ متراً(٥٠٠ قدم) سوف يتمدد فى بنسلفانيا وينكمش بنحو ١٢ سنتيمتراً (٥ بوصات) فيما بين يوم بارد فى الشتاء ويوم دافئ فى الصيف. وتصميم الروابط فى المنشآت الكبيرة فيه بالذات تحد، ذلك لأننا سيكون لدينا الآن معياران للتصميم يتضاربان نوعًا: ١- الحاجة لتثبيت العناصر الإنشائية معًا، و٢- الحاجة لأن يتاح للعناصر الموصولة معًا بعض درجة من الحركة النسبية (وعادة يكون ذلك فى اتجاه واحد فقط). والجسور والمبانى الكبيرة تتضمن أنواعًا شتى من الحلول البارعة لهذه المشكلة نذكر القليل منها: ككراسى التحميل المغلفة الكبيرة، وأسطح الارتكاز المتأرجحة، والأحزمة الفرعية، ومجموعات العروة والحمالة[١٢]. والمهندسون فى بعض الحالات يوسدون المبانى المرتفعة فوق دعائم تمدد تتيح للمبنى كله أن يتأرجح قليلاً بدلاً من أن ينحنى. والتفاصيل الميكانيكية لهذه الوصلات لا يلزم أن تشغلنا هنا، والنقطة المهمة عندى أنه لا توجد طريقة تتسم "بالكمال" لتربط معًا عنصرين إنشائيين كبيرين، لأنه من المستحيل تمامًا أن نقوم فى الوقت نفسه بمنع الحركة ثم نسمح بالحركة فى نفس الوصلة. وبالتالى فإنه لا يمكن تجنب الحل الوسط فى التصميم، وعند التطبيق فإن هذا يصل عادة إلى تجاهل تلك التوليفات من ظروف التحميل التى يعد من غير المرجح إلى حد كبير أن تحدث أثناء مدى حياة هذا المنشأ. وقد حدث فى يناير عام ١٩٩٤ زلزال فى نورثريدج بكاليفورنيا قدح الزناد لانهيار أجزاء من ثلاث طرق رئيسية مرفوعة، وحدثت كل هذه الإخفاقات عند الوصلات أو عند الحوامل الرأسية. على أن هذا لا يفرض علينا أن نستنتج أن العمل الهندسى فى كاليفورنيا كان معيبًا. ولو حدث زلزال بنفس القوة فى نيو إنجلند لحدث تدمير أعظم بقدر كبير. (أجل، فإن الزلازل تحدث بالفعل فى الجزء الشرقى من الولايات المتحدة، وإن لم تكن بنفس كثرتها فى كاليفورنيا).

أهم جزء فى أى منشأ هو ذلك الذى لا يراه إلا قلة من الناس: الأساس. والفشل هنا قد يؤدى إلى انهيار كل ما يعلو الأساس. وعلى الرغم من أن المنشآت الخفيفة التى من طابق واحد تبنى أحيانًا فى الأجواء الدافئة فوق ألواح خرسانة، إلا أن الأساس عادة يجب أن يزيد عن ذلك كثيراً جداً. أما فى الأجواء الباردة فإن الأساس حتى للمبانى الخفيفة، يجب أن يمتد لأسفل خط الصقيع لتوقى الارتفاع والانبعاج عندما

تتمدد الأرض بالتجمد. وفي المناطق القطبية، يجب أن تكون الأساسات بحيث تعزل حراريًا المنشأ عن الأرض، لمنع حرارة المنشأ الداخلية من تسييح طبقة التجمد الدائم، وإذا ساحت هذه الطبقة "بالفعل"، سيتعرض المنشأ للترييح (وربما حدث ذلك بغير تساو)، ويتبع ذلك حركات إضافية عندما تعود الأرض الحاملة إلى التجمد.

ومن الواضح حتى للمشاهد العارض تمامًا، أن قدرة التربة على تحمل الأحمال تقل عندما يزداد ما تحويه من رطوبة، ومع ذلك فإن التنبؤات الكمية لهذه الظاهرة يصعب تمامًا القيام بها وتكون مفعمة بأوجه من عدم اليقين. وبالتالي فإن الأساسات التي تعتمد على الخواص الميكانيكية للتربة يجب أن يتم بناؤها بأسلوب محافظ جداً. وفي الإنشاءات الساحلية حيث يكون منسوب المياه عاليًا والتربة في أغلبها رملية، سيلزم أن تُبنى البيوت على خوازيق تمتد من ٣ إلى ٥ أمتار (١٠ - ١٦ قدمًا) تحت سطح الأرض حتى ولو كانت هذه البيوت خفيفة نسبيًا. وهذه الخوازيق تعمل أيضًا ككمرات رأسية تستطيع أن تقاوم الهجوم الجانبي من موجات العواصف المتوسطة وتزيد من صلابة المنشأ ضد الرياح العنيفة.

أما بالنسبة للمنشآت الأكبر والأثقل، فلا يمكن ببساطة أن نعتمد على الأرض لحمل أحد الأساسات. وبالتالي فإن معظم الجسور وناطحات السحاب تبقى منتصبة بواسطة خوازيق تمتد خلال التربة وتحمل على طبقة صخر الأديم، التي كثيرًا ما تكون تحت سطح الأرض بأمتار كثيرة (أو حتى بطبقات كثيرة)[١٢]. وهذا هو أفضل ما يمكننا فعله، ذلك أنه لا يوجد أي قدر من العلم الهندسي يمكنه أن يمنع صخر الأديم من أن ينزاح خلال زلزال أو بالإجهاد بصدع محلي. ولحسن الحظ فإن احتمال أن يحدث إزاحة مباشرة لصخر الأديم أسفل المنشأ لهو احتمال قليل، وأسوأ ما يحدث عادة أنه يهتز متذبذبًا.

لو كانت الجاذبية هي القوة الوحيدة التي تحدث فعلها على أحد المنشآت، سيكفينا تمامًا أن نبني ببساطة المباني الضخمة بحيث "تجلس" من فوق أساساتها. والحقيقة أن هناك مباني تاريخية عديدة في كل الأرض قد بنيت بهذا الأسلوب وظلت باقية لقرون كثيرة. على أن الزلازل قد ينتج عنها أحمال جانبية لها القدرة على أن

تهوى حتى بأثقل المبانى بعيداً عن أساساتها، بينما نجد أن الرياح العنيفة والفيضانات العالية تنقل للمنشأ قوى جانبية ورافعة معًا. ومن الواضح أن المهندس يلزم أن يهتم بهذه الاحتمالات. ولوائح الإنشاء فى معظم أجزاء الولايات المتحدة تتطلب أن تكون المبانى مربوطة ربطًا صلبًا بأساساتها، بأسلوب يقاوم قوى الرفع أو قوى الجز القاعدى التى تعرف بأنها من العوامل الخطرة للكوارث المحلية. ولسوء الحظ، لا توجد طريقة سهلة لإعادة إعداد الكثير من المنشآت القديمة التى لا تفى بلوائح البناء الحديثة وفى بعض الحالات نجد أن هذه المنشآت القديمة المخالفة قد أثبتت قدرتها على مقاومة الأحداث الطبيعية الجيوفيزيائية أو المتريولوجية. على أنه يحدث فى حالات أخرى أن تكون مثل هذه المبانى بمثابة قنابل موقوتة، تنتظر التفجر بواسطة ما سيلى من عاصفة أو زلزال أو فيضان[١٤].

التحميل الدينامكى

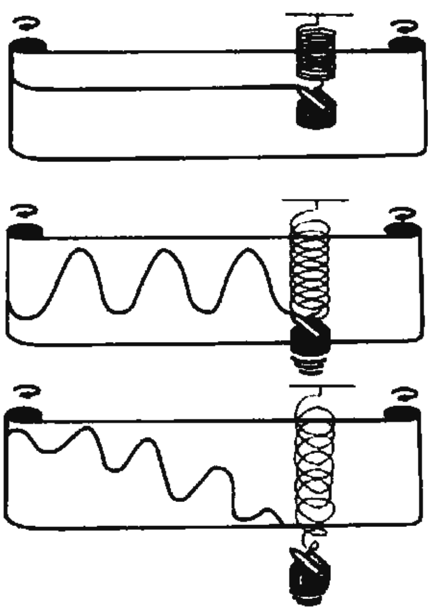
كل منشأ يجب أن يحمل نوعين من الأحمال. فهناك "الأحمال الإستاتيكية" (التى يشار لها أيضًا "بالأحمال الميتة") وتتضمن وزن المنشأ نفسه مضافًا إليه أى قوى إضافية تعمل فعلها بثبات على المنشأ (مثلاً، قوة السائل الإستاتيكية بالنسبة للماء الذى يضغط على جانب السد أعلى التيار). أما "الأحمال الديناميكية" فتتضمن تأثيرات حركة المرور، أو الرياح، أو الهزات الأرضية، أو مياه الفيضان أو أى قوى "أخرى" سريعة التغير يمكن أن يتعرض المنشأ لتأثيرها .

ومن الواضح، أن من المحتمل جداً لأحد المنشآت أن يتحمل بما يُعتمد عليه أحماله الإستاتيكية ولكنه ينهار كارثيًا بسبب حمل ديناميكى لم يتوقعه المصمم.

والتمييز بين التحميل الإستاتيكى والديناميكى قد يبدو لأول وهلة وكأنه مفتعل نوعًا: وعلى كل، فمن حيث النظرة بالمقاييس أليس أى حمل حملاً؟ على أن إجابة أمنا الطبيعة عن ذلك هى لا. فالأحمال التى تُعمل مفعولها سريعًا ثم تزول تفعل شيئًا مختلفًا عما تفعله الأحمال الإستاتيكية: إنها تحدث "ذبذبات". ويظهر تأثير ذلك فى

شكل (١٢.٣) حيث ننظر أمر ثلاث حالات لوزن معلق في زنبرك، مع أداة بسيطة للتسجيل تتيح لنا رسم حركة الوزن بمرور الزمن. في (أ) الحمل إستاتيكي، ويسجل القلم خطًا مستقيمًا لا غير لا يثير الاهتمام. وفي (ب) أعطينا للوزن ضربة سريعة (حمل ديناميكي)، وسنرى أنه يتذبذب لأعلى وأسفل ، ويستمر ذلك فيما يُحتمل لزمن طويل نوعًا قبل أن يقف.

ولنلاحظ أنه عند قاع كل ذبذبة يمتط الزنبرك بقدر أكبر بعض الشيء عما كان في حالته الإستاتيكية، وهذه الزيادة في المط تحدث بتكرار منتظم حتى بعد أن يزول الحمل الديناميكي بزمن طويل.



شكل (١٢.٣) مقارنة بين التحميل الإستاتيكي والديناميكي. إذا حدث تجاوز لحد المرونة يتعرض المنشأ لتشوهات كبيرة متزايدة مع كل دورة، بما يؤدي إلى فشله في النهاية.

وفي (ج) نرى نفس الموقف الديناميكي مع زنبرك له حد مرونة أقل. وهنا فإن كل دورة لأسفل تجهد الزنبرك ليصل إلى حالة لدونته التي لا يسترد بعدها وضعه الأصلي بالكامل. وكنتيجة لذلك فإن كل دورة تذبذب تمط الزنبرك لأكثر وأكثر، لزمن طويل بعد إزالة الحمل الديناميكي الذي بدأ الذبذبة.

والحالة (ج) هي الحالة التي يجب تفاديها في المنشآت، لأن من الضروري لكل منشأ أن يعود لشكله الأصلي بعد زوال الحمل. وإذا لم يعد إليه، فإنه لا يعود بعد نفس المنشأ، وتصبح كل الأحوال غير مواتية بالنسبة لحسابات التصميم الأصلي. وربما كان لديك من قبل خبرة التوقف في حركة المرور فوق جسر تمر عليه مقطورة جرار في الاتجاه المعاكس وستحس عندها بوثبة لها قدرها يعقبها تذبذب رأسي. وإذا حدث هذا مرة أخرى، فلا داعي لأن تنزعج - فالجسر يفعل ما صمم لأن يعمله كاستجابة لحمل ديناميكي رأسي. ومن الناحية الأخرى، إذا أحسست أن الجسر يسقط و"لا" يرتد واثبًا مرة أخرى، اخرج من سيارتك لتجري. فلابد أن جزءًا جوهريًا من الجسر قد تشوه إلى حالته من اللدونة، ويكاد يكون من المؤكد أنه سيلي ذلك فشل واحد أو أكثر من عناصر الربط .

والنقطة المهمة هي كالتالي: سيؤدي الحمل الديناميكي إلى إجهاد العناصر الإنشائية بما يتجاوز مستوى إجهاد نفس هذه العناصر بحمل إستاتيكي يكافئ الديناميكي. ولو وضعنا مثلاً حملاً ثابتًا من أربعين طنًا على أحد الإنشاءات فإن هذا يتطلب شروطًا في المنشأ أقل مما يتطلبه تعرض المنشأة بسرعة لحمل من ٤٠ طنًا وإزالته بسرعة. والأحمال الديناميكية غير المتوقعة يمكن أن تجهد العناصر الإنشائية هي وروابطها بما يتجاوز حد مرونتها، ويمكن أن تحول عناصر الشد إلى الضغط (والعكس بالعكس)، ويمكن أن تحدث ذبذبات تستمر لثوانٍ كثيرة بعد أن يزول الحمل، ويمكن أن تخلف المنشأ (إن بقي موجوداً) في حالة من ضعف له قدره. والحقيقة أن هناك مباني كثيرة عُرف أنها نجت لتبقى بعد زلازل كبيرة، ثم لم تلبث أن انهارت أثناء هزات تابعة ضعيفة نسبيًا .

والزمن الذي تستغرقه دورة ذبذبة كاملة يشار إليه على أنه "فترة"، بينما معكوسه، أو عدد دورات الذبذبة في الثانية يسمى "التردد". والفترة والتردد ينقلان نفس المعلومة، ويسهل حساب الواحد منهما من الآخر. وكمثل، إذا تذبذب مبنى بفترة من ٠,٥ ثانية، فإن تردده يكون دورة لكل ٠,٥ ثانية، أو دورتين لكل ثانية .

وسعة الذبذبة هي أقصى انحراف عن وضع السكون الطبيعي. وعندما يبقى مقدار تشوه المنشأ في نطاق حد مرونته، فإن فترة تذبذب المنشأ ستكون مستقلة عن

السعة. وبكلمات أخرى، إذا كان للمبنى فترة ذبذبة من ٠,٥ ثانية عندما تكون سعة الذبذبة ٢٠ سنتيمتراً، ستظل الفترة ٠,٥ ثانية عندما تكون السعة ١٠ سنتيمترات لا غير. فالفترة خاصية للبناء نفسه ويمكن حسابها من أوزان العناصر الإنشائية وخواص مرونتها. ومن الناحية الأخرى فإن السعة تتعلق بحجم الصدمة التى تبدأ بها الذبذبة، وهذا بالطبع أمر لا يمكن إجراء توقعه. وحتى نغير من فترة ذبذبة المبنى، يجب تغيير المنشأ نفسه ببعض طريقة لها مغزاها. وقد نفكر فى بناء جرس يرن بالتحميل الديناميكي. والجرس يمكن رنه رنًا هادئًا أو عاليًا ولكنه فى الحالين يرن بنفس النغمة الموسيقية. وبنفس الطريقة، فإن البناء سوف "يرن" عند فترته الطبيعية الخاصة به.

وهذا السلوك تكمن فيه مشكلة إضافية للمهندس الإنشائي: وهى الحاجة إلى تجنب الرنين. فبعض الأحمال الديناميكية، وخاصة تلك التى تصاحب الزلازل، لديها خواصها الوراثية الخاصة بها. وإذا ضاهت فترة موجة زلزال الفترة الطبيعية لأحد المبانى، فإن الموجة ستضخ طاقة فى ذبذبات المبنى بفاعلية كبيرة. وهذا بمثابة رسم تصميم لكارثة، ذلك أنه فى هذه الظروف يمكن حتى لزلزال صغير أن يولد ذبذبة فى المبنى ذات سعة كبيرة .

مدينة ١٩٨٥

حطت كارثة الزلزال عند الساعة ٧:١٧ صباحًا فى ١٩ سبتمبر ١٩٨٥، فقتلت ١٠٠٠٠ وأدت إلى إصابة ما يقرب من ٥٠٠٠٠، وخلفت ٢٥٠٠٠٠ بلا مأوى، وذلك بين عدد من السكان يبلغ ١٨ مليونًا. وانهار ما يزيد عن ثمانمائة مبنى من فنادق ومستشفيات ومدارس ومكاتب، ومعظمها فى نطاق حيز مركز من ٢٥ كيلو مترًا مربعًا (١٠ أميال مربعة)، وكان مركز الزلازل نفسه بعيداً بما يزيد عن ٣٥٠ كيلو متراً (٢٢٠ ميلاً) جهة الغرب، ولم تكن حركة الأرض شديدة على وجه الخصوص فى معظم أنحاء المدينة. على أن أحد أقسام المدينة بالقرب من مركزها كان يقوم مكان بحيرة أزتيك(*)

(*) الأزتيك سكان المكسيك القدماء (المترجم).

قديمة. وقد تم تجفيف بحيرة تكسكوكو هذه بعد الفتح الإسباني. وقد أدت الخواص الميكانيكية لحوض البحيرة القديم إلى تضخيم جزء من موجة الزلزال التى كانت لها فترة من ثانيتين، ومن هذه الموجة ذات الثانيتين انتقلت عشر دورات إلى أساسات مبانى هذه المنطقة.

وكما يحدث دائمًا فإن المبانى الحجرية غير المقواة صارت إلى حال بائس، وفى نفس الوقت، فإن إنشاءات الخرسانة المسلحة الأقل من ٦ طوابق والأعلى من ١٥ طابقًا بقيت موجودة على وجه العموم، بينما أصيبت المبانى التى يبلغ ارتفاعها ما بين ٦ إلى ١٥ طابقًا بأضرار بالغة أو أنها انهارت انهيارًا كارثيًا.

لماذا تخير هذا الزلزال المبانى التى يبلغ ارتفاعها بين ٦ إلى ١٥ طابقًا؟ لأن مبنى الخرسانة المسلحة الذى بهذا الارتفاع يكون له عادة فترة تذبذب طبيعية تبلغ نحو ثانية واحدة إلى ثانيتين - وهذا يضاهى مضاهاة وثيقة فترة هذا الحمل الديناميكى بالذات. وفى عشر دورات لموجة الزلزال، ضُخ قدر كبير من الطاقة فى هذه المنشآت بالذات، فتأرجحت أمامًا وخلفًا كبندول مارد مقلوب والحقيقة أنه قد سُجِّل أن بعض المبانى قد استمرت تتأرجح أمامًا وخلفًا لدقيقتين، على الرغم من أن اضطراب الزلزال نفسه لم يدم سوى لعشرين ثانية. أما الإنشاءات المسلحة الأقل ارتفاعًا فى نفس المنطقة فقد نجت باقية، لأن فتراتها الطبيعية لا تضاهى فترة موجات الزلزال.

كما أن المبانى الأكثر ارتفاعًا لم تعان من أى تلف إنشائى خطير: وكان هناك مبنى للمكاتب، هو برج أمريكا اللاتينية ارتفاعه ٤٤ طابقًا ومبنى فى الخمسينيات من قرننا، وهو لا يتأثر بأى حمل ديناميكى بفترة من ثانيتين، لأن فترته الطبيعية الخاصة به هى ٣,٧ ثانية.

والصورة الفوتوغرافية فى شكل (١٣.٣) تبين ناطحة السحاب هذه فى الخلفية ومعها برج إرسال مرتفع بقى ناجيًا، بينما فى مقدمة الصورة مبنى للمكاتب أصابه انهيار كامل .



شكل (٣-١٣) تأثيرات الرنين، فى مدينة مكسيكو ١٩٨٥ المبانى التى يبلغ ارتفاعها بين ٦-١٥ طابقًا أصابها أبلغ الأضرار. أما مبنى الأربعة والأربعين طابقًا فى الخلفية فلم يصبه ضرر (الصورة بإذن من المركز القومى للمعلومات الجيوفيزيائية).

والدرس القاسى من حدث عام ١٩٨٥ فى مدينة مكسيكو كالتالى: حتى أقوى المبانى التى يتم إنشاؤها على النحو الملائم تكون عرضة للانهيار فى ظروف معينة غير مواتية من التحميل الديناميكى. وهذا يطرح معضلة كبيرة أمام المهندس الإنشائى، ذلك أن الأحمال الديناميكية التى سوف تقدح زناد الفشل لمبنى معين يجب "ألا" تكون موجودة فى جدول أمنا الطبيعة فى المستقبل ، ولكن من ذا الذى يستطيع أن يقول واثقًا بأى حال ما الذى يمكن أن يكونه بالضبط برنامج أمنا الطبيعة لأحداث المستقبل؟

الهوامش

(١) C.W. Wright, The world's most cruel earthquake, National Geographic, A 1909, 373-96.

(٢) U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration, as cited by B.A. Bolt In Earthquakes (New York: Freeman, 1988), 6.

(٣) A number of fascinating contemporary accounts were published immediately following the 1906 earthquake, Among them M. Everett, Complete story of the San Francisco earthquake (Chicago: Bible House, 1906), and S. Tyler, San Francisco's great disaster (Philadelphia: Zeigler, 1906). Numerous articles subsequently appeared in various scientific journals, and some continue to appear today: e.g. P. Segall & M. Lisowski, Surface displacements in the 1906 San Francisco and 1989 Loma Prieta earthquakes. Science (1990), 1241-4.

(٤) A portion of the Italian map is included in Wright article cited in note 1 to this chapter.

(٥) J. Bronowski, The ascent of man (Boston: Little, Brown, 1976).

(٦) هناك بعض أمثلة رائعة لإخفاقات هندسية تم تتبعها لتكشف عن أخطاء فادحة في تطبيق المبادئ العلمية الاختزالية، انظر في ذلك:

M. Salvadori, Why buildings fall down (New York: McGraw-Hill, 1992). I also strongly recommend an earlier book by the same author, Why buildings stand up: The strength of architecture (New York: McGraw-Hill, 1982).

(٧) يُعرف "النيوتن" رسميًا بأنه القوة الخالصة اللازمة لتعجيل كتلة ١ كجم بسرعة من ١ متر في الثانية لكل ثانية. وحيث إن هذا التعريف يصعب نوعًا تطبيقه في الممارسة العملية، فقد تم إنشاء تعاريف ثانوية شتى أو معايير مشتقة، وذلك بواسطة المؤتمر الدولي للموازين والمقاييس. وكمثل فإن النيوتن الواحد هو أيضًا القوة الجذبوية التي تقع على كتلة كيلو جرام واحد عندما يكون موقعها عند نقطة حيث عجلة السقوط الحر الجذبوية هي ٩,٨٠٦٦٥ متر في الثانية لكل ثانية.

(٨) في الاستخدام الشائع، كثيرًا ما يختصر كيلو جرام - قوة إلى "كجم" بدلاً من كجم - ق. وحيث إن الكيلو جرام (كجم) يعرف رسميًا بأنه وحدة كتلة وليس وحدة قوة، فقد استخدمت اختصار "كجم - ق"

هنا عند استخدام الكيلو جرام كوحدة قوة. وكتلة الكيلو جرام الواحد عند نقطة معينة فوق سطح الأرض تمارس قوة جذبوية من ١ كيلو جرام - قوة، بزيادة أو نقص

١٪ أو ٢٪ حسب الموقع. وكتلة الكيلو جرام الواحد تزن بالضبط ١ كيلو جرام - قوة عند نقط حيث يكون العجلة الجذبوية قمية معيارية من ٩,٨٠٦٦٥ متر فى الثانية، لكل ثانية.

(٩) H.R. Hitchcock, ed., World architecture: An illustrated history (London: Hamlyn, 1963).

(١٠) وجود دائرة من العقود لا يضمن أن تظل كل المواد فى حالة ضغط؛ وإذا كان تخطيط الدائرة جد صغير أو إذا كان هناك قبة ثقيلة جداً يجب حملها، فإن العقود ستُدفع للخارج، ويمكن أن تنشأ إخفاقات شديدة في المسارات العليا من المبنى الحجرى. وهناك قباب حجرية فوق بعض المبانى القديمة لزم تحزيمها بالفولاذ لتوقى فشلها بالكامل نتيجة هذه الظاهرة.

(١١) The first comprehensive account of this disaster was F. Connelly & G.C. Jenks, Official history of the Johnstown Flood (Pittsburg: Journalist, 1889). A more accessible source is D.McCullough, The Johnstown Flood (New York: Simon & Schuster [Touchstone], 1968). For a shorter account of this disaster, I refer the reader to William H.Shank, Great floods of Pennsylvania: A. two century history (York, Pa: American Canal and Transportation Center, 1972).

(١٢) أدى فشل مجموعة عروة وحمالة فى جزء فى طريق ٩٥ ما بين الولايات فى ١٩٨٣ فى كونكتيكت إلى انهيار أحد باعات الجسر وثلاث وفيات. انظر وصف هذا الفشل وأسئلة أخرى من مشاكل الوصلات الإنشائية فى مرجع:

H. Petroski, To engineer is human: The role of failure in successful design (New York: Vintage, 1992).

(١٣) أحد دعامات جسر جيمس إيدس على نهر المسيسبى عند سانت لويس يمتد ٤١,٥ متر (١٣٦ قدم) تحت مستوى النهر. وقاعدة برج نيويوك لجسر بروكلين تمتد ٢٤ متراً (٧٨,٥ قدم) تحت الماء.

(١٤) For discussions of this issue, see K. Matso, Lessons from Kobe, Civil Engineering, Apr. 1995, 42-7, and G. Zorpette, Bracing for the next big one, Scientific American, Apr. 1995, 14-16.

الفصل الرابع

الموت والحياة

بحيرات الكاميرون القاتلة

حلت كارثتان غريبتان صامتتان بقريتين فى جمهورية الكاميرون بغرب أفريقيا فى عامى ١٩٨٤ و١٩٨٦، وما كاد العلماء يكشفون عن أسرار الكارثة الأولى التى قتلت ٣٧ فرداً، حتى وقعت كارثة مماثلة تقريباً أدت إلى وفاة ما يزيد عن ١٧٠٠ نفس بشرية أخرى. لم يمت الضحايا من إصابة رضح (*) أو من درجات حرارة قصوى أو من مرض أو من الجوع. وإنما ماتوا من نقص الأوكسجين، مع أن الكثيرين منهم كانوا تحت السماء المفتوحة. حدثت أول كارثة فى ١٦ أغسطس ١٩٨٤، فعند الساعة ٣٠ : ٥ صباحاً تلقى قسم الشرطة فى مدينة فومبوت تقارير بأن الناس يتهاوون فى الطريق بالقرب من بحيرة مونون. وعندما وصل العديد من الرجال الرسميين مع الطبيب المحلى إلى المكان بعد مرور ساعة، رأوا الأجساد مبعثرة بطول الطريق، وثمة سحابة بيضاء تحف بالأرض وتنجرف متجهة إليهم مع الرياح المنطلقة من البحيرة. وعندما اقتربت السحابة أخذ المحققون يحسون بالغثيان، والدوار ، وبضعف فى سيقانهم، فتقهقروا سريعاً (وبحكمة) حتى تشتتت هذه الغيمة الغريبة. وقد سجلوا بعدها أنهم فى النهاية عندما فحصوا الضحايا بالفعل، كان الكثيرون منهم لديهم إصابات فى الجلد أو نفطات(**)، ورغوة عند الأنف أو الفم، وتمدد فى المعدة، ودلائل على عدم التحكم فى

(*) الرضح الإصابة بمرض أو جرح أو كسر أو ما أشبه . (المترجم).
(**) فقاعات فى الجلد تحوى سائلاً (المترجم) .

الإخراج. ووجدوا أيضاً فى الجيرة المباشرة العديد من الجرذان الميتة والخفافيش والثعابين، وقطة واحدة على الأقل[1] . ولسوء الحظ لم يتم إجراء الصفة التشريحية لأى من الضحايا، ولم تؤخذ عينات من أنسجتهم.

ولما كان يبدو أنه قد وقع بعض نوع من حدث جيوفيزيائى، فقد زار المنطقة فى الشهور التالية مجموعات عديدة من علماء الأرض وحاولوا أن يدمجوا روايات شهود العيان المحليين مع التحاليل الكيميائية التى أُجريت بعد الحدث الحقيقى لعينات من المياه والرواسب أُخذت من البحيرة. وسرعان ما أصبح واضحًا أنه لا يوجد فرض علمى واحد يمكن أن يتوافق مع كل المعطيات والمقابلات التى جرت مع شهود العيان. وعلى وجه التحديد، فإن أيًا من الغازات التى يمكن تصور انبعاثها من البحيرة، لا يمكن أن يسبب كل هذا المدى من التلف الفيزيولوجى الذى أُبلغ بأنه حاق بالضحايا، وبالإضافة، فلو كان للأحماض دور فى الأمر، فإن الملابس والحياة النباتية كانت ستحمل براهين تشى بذلك حتى بعد الحدث بزمن طويل. وحيث إن الضحايا العديدين من الذين نجوا أحياء لم يخبروا أى رغوة أو إصابات بالجلد فإن الواجب أن يُشك فى أن تقارير الرسميين لم تكن دقيقة فى بعض التفاصيل. على أن روايات شهود عيان آخرين جمعها العلماء بدت على علاقة وثيقة بالأمر: ففى الساعة ٣٠ : ١١ مساء فى الليلة السابقة للكارثة، سمع أفراد عديدون من المقيمين فى قريتين قريبتين صوت دمدمة واضحة عن قرب من البحيرة.

وبحيرة مونون إذا نظرنا إليها عند سطحها تبدو كيانًا صغيراً نسبيًا فطولها قرابة ١,٥ كيلو متراً وعرضها يختلف بين ٢٠٠ إلى ٧٠٠ متر. وهى ترقد فى فوهة بركان جدرانها شديدة الانحدار، بحيث إن البحيرة تعد عميقة نوعًا بالنسبة لمقاييس سطحها، ويبلغ أقصى عمق لها ٩٦ متراً (٣١٥ قدم) (وهذا عمق يزيد زيادة لها قدرها عن عمق بحيرة إيرى مثلاً). ويبدو أن ضجة الدمدمة قد انبعثت من انزلاق أرضى بما أسقط قدراً كبيراً من الصخر والوحل فى أعمق أجزاء البحيرة. ومثل هذا الانزلاق الأرضى يخلق موجة سطحية عظيمة (والحقيقة أنه كانت هناك أدلة فى الأحياء النباتية على وجود موجة حديثة من ٥ أمتار)، وليس هذا فحسب ، بل إن هناك

ما يتجاوز ذلك، وهو أن هذا الاصطدام سيؤدى بكل تأكيد إلى مخض أعمق مياه البحيرة لتطلع إلى السطح.

ولما كان الانزلاق الأرضى والموجة الناتجة عنه قد حدثا فى منتصف الليل فإن أيًا منهما لم يصب مباشرة أى ضحايا. على أنه لسوء الحظ فإن المياه العميقة لبحيرة مونون مشبعة بما ينوب فيها من ثانى أكسيد الكربون الذى دخلها عبر سنوات كثيرة من خلال فتحات بركانية باردة فى قاع فوهة البركان. وعندما اندفعت هذه المياه العميقة المضغوطة إلى السطح، فإن ثانى أكسيد الكربون الذائب فيها خرج فى التو فائرًا، تمامًا كما يفعل حين نفتح علبة مشروب مكربن بعد رجّها.

وبالطبع، فإن ثانى أكسيد الكربون نفسه ليس سامًا، وجو الأرض يحوى دائمًا قدرًا صغيرًا من هذا الغاز الضرورى لحياة النبات. ولكن ثانى أكسيد الكربون يزيد كثافة عن الهواء بنحو ٤٠٪، وهذا يؤدى إلى انسيابه إلى الأماكن المنخفضة ليحل مكان الهواء الجوى العادى[٢]. وفى هذا الصباح المأساوى فى عام ١٩٨٤ تفجرت سحابة الغاز من البحيرة وانزلقت بطول وادى نهر للشرق لتخنق معظم ضحاياها أثناء اقترابهم من جسر منخفض قرب طلوع النهار.

وحادث بحيرة مونون حادث مغمور نسبيًا لم يجذب فى الواقع انتباه وسائل الإعلام عندما حدث. وقد جذبت الظاهرة بالفعل عددًا من العلماء، إلا أن الدراسات العلمية تستغرق زمنًا. وقبل أن تُسجل أى نتائج أو فروض فى المجلات العلمية، حلت كارثة ثانية أشد خطورة فى موقع لبحيرة عميقة أخرى بفوهة بركان فى الكاميرون: بحيرة نيوس. فى ٢١ أغسطس (١٩٨٦) قرابة الساعة ٣٠ : ٢١ (الساعة ٣٠ : ٩ مساء) سمعت سلسلة من أصوات دمدمة لعلها ظلت باقية من ١٥ إلى ٢٠ ثانية، وجعلت الناس فى الجيرة المباشرة للبحيرة يخرجون من بيوتهم. وأبلغ أحد المشاهدين عن سماع صوت بقبقة، وبعد سيره إلى نقطة تصلح للاستشراف رأى سحابة بيضاء تنبعث من البحيرة مع موجة ماء كبيرة. وشم أفراد كثيرون رائحة بيض فاسد أو مسحوق بارود، وخبروا إحساسًا بالدفء، وسرعان ما فقدوا الوعى. أما الناجون أحياء من الحادث، الذين أفاقوا بعدها بست إلى ست وثلاثين ساعة،

فقد أحسوا بالضعف والتشوش. ووجد الكثيرون أن مصابيحهم الزيتية قد انطفأت، مع أنها مازالت تحوى زيتًا، وأن حيواناتهم وأعضاء أسرهم قد ماتوا. ولم يظهر للعيان أى طائر أو حشرة أو أى من عشائر الثدييات الصغيرة فى المنطقة، وذلك، على الأقل، طيلة ٤٨ ساعة بعد الحدث. أما الحياة النباتية فلم يصبها أساسًا أى تأثير كهذا.

ويبيِّن ما حدث من دمار للنبات أنه كانت هناك موجة مياه قد اكتسحت الشاطئ الجنوبى بارتفاع ما يقرب من ٢٥ مترًا. وانسابت موجة يبلغ ارتفاعها ٦ أمتار عبر مفيـ ـ عند الطرف الشمالى من البحيرة، واصطدمت نافورة من المياه أو الرغاوى عبر صخرة ارتفاعها ٨٠ مترًا كانت داخل المياه عند الشاطئ الجنوبى الغربى(٢).

انتشرت هذه السحابة الثانية من الغاز لمسافة تبعد ١٠ كيلو مترات (٦ أميال) من بحيرة نيوس وقتلت ١٧٠٠ من الأفراد، وما يقرب من ٣٠٠٠ من الماشية. وفى هذه المرة أخذ العلماء يصلون خلال أيام معدودة واستطاعوا أن يثبتوا بما يتجاوز أى شك يُعقل أن الضحايا قد ماتوا بالاختناق من ثانى أكسيد الكربون. وعلى الرغم من أن الكبريتيدات ربما كانت موجودة فى سحابة الغاز (ولعلها تفسر الرائحة) إلا أنها لم تكن بالتركيز الكافى لأن تسبب الموت. أما الإصابات الجلدية التى وُجدت على بعض الضحايا فأُرجع أمرها إلى أمراض مناطق حارة موجودة من قبل وليس إلى حروق حرارية أو كيميائية. ولا يمكن أن يكون سبب الانطلاق المفاجئ للغاز راجعًا إلى نشاط بركانى مفاجئ أو إلى حدث زلزالى. وقد وُجد أثر انزلاق أرضى حديث على الجروف الغربية المواجهة للبحيرة، بما يطرح أن الحدث ربما نتج بنفس الأسلوب مثل بحيرة مونون. وأبعاد بحيرة نيوس هى ١٩٢٥ مترًا طولاً، ١١٨٠ مترًا عند أقصى عرض لها، و٢٠٨ أمتار عمقًا، بما يجعلها أكبر وأعمق من بحيرة مونون. وهذا يفسر تفسيرًا كافيًا الحجم الكبير للغاز المنبعث، وبالتالى العدد الأكبر لقائمة الموتى.

واليوم، مازالت المياه العميقة فى البحيرتين تحوى باستمرار كميات كبيرة من ثانى أكسـيد الكربون المذاب، والتـهديد بتـكرار ما حـدث تهديد جد حقيقى. على أنه توجد بالفعـل إستراتيجية معقولة لتجنب كارثة أخرى من هذا النوع: وهى أن تُضخ المياه باستمرار من أعماق البحيرة لسـطحها، حيث سيفور ثانى أكسيد الكربون باستمرار للخـارج ولكن بمعدل من سرعة منخـفضة بما يكفى لتوقى الإزاحة الكاملة للأوكسجين الجوى فى المنطقة المحيطة. والمبادئ الهندسـية لذلك بسيطة جداً. ولسوء الحظ، فإن رأس المال لمشروع كهذا غير متاح حـاليًا. (إجمالى الإنتاج المحلى بالنسبة لكل فرد فى الكاميرون أقل من ٥٪ عن مثيله فى الولايات المتحدة). وأفضل ما يمكن عمله حاليًا هو متابعة بحيرات فوهات البراكين بالكاميرون بانتباه زائد، بأمل إمكان إعطاء إنذارات بالإخلاء فى الوقت المناسب إذا حدث مرة أخرى أن لفـظت مياه أى من هذه البحيرات تفجراً كبيراً من غاز ثانى أكسيد الكربون الخانق.

توزيعات السكان والكوارث

فى السنوات المبكرة للجنس البشرى، عندما كان بقاء الإنسان يعتمد على الصيد وجمع الثمار وعندما كانت التجمعات الاجتماعية صغيرة ومتناثرة جغرافيا، كانت الكوارث الطبيعية الكبيرة أقل ما يشغل بال أى فرد. فقبل وجود المزارع والمدن لم يكن يوجد سوى القليل مما يربط أى مجموعة بمنطقة جغرافية بعينها. وإذا بدأ بركان فى الزمجرة، ستتمكن القبيلة من أن تنتقل بسهولة بدون أى إحساس بفقدان شىء، وإذا ضرب زلزال ضربته، فليس هناك مبانٍ ثقيلة تتهاوى فوق أطفال نائمين. ولم يكن حدوث أوبئة من الأمور المحتملة، لأن الأمراض المعدية تتطلب وجود حد معين من السكان العائلين للجراثيم يكفل استمرار بقاء هـذه الجراثيم الحية. وقد تؤدى الموجات التسونامية والفيضانات إلى وقوع ضحايا، ولكن ذلك لم يكن قط بأعداد كبيرة، والسبب ببساطة أنه فى مجتمع الصيادين - جامعى الثـمار لا يحـدث قط أن تحتشد أعداد كبيرة من البشر فى مكان واحد فى الوقت نفسه . وأحد الشروط

الضرورية للكارثة الطبيعية هو وجود عدد كبير من البشر يعيشون معيشة شبه دائمة في مكان واحد.

وعلى الرغم من أن كوكبنا يكون عادة كريمًا فيما يتعلق باستمرار بقاء الحياة البشرية، إلا أن قوى الطبيعة تؤدى أحيانًا بالفعل إلي تحويل بعض مناطق بيئتنا إلى شراك مميتة. وإذا تطابق وقوع أحد هذه الأوجه الشاذة من البيئة مع وجود جيب كثيف من السكان البشر، يكون لدينا كارثة طبيعية. وقد يكون من الأحداث المثيرة أن تقع عاصفة ثلجية عنيفة في قارة القطب الجنوبي، وأن يهب إعصار بعمود ماء في المحيط الأطلسي وأن يثور بركان في سيبيريا، ولكنها كلها يندر أن تكون كوارث. فالكارثة تحدث عندما تضرب العاصفة الثلجية مدينة كبيرة، أو عندما يهب إعصار قمعي على ساحة منازل متنقلة، أو عندما يتفجر بركان عند مستوى سطح البحر ويرسل موجات تسونامية تندفع في سباق تجاه شواطئ مأهولة. ولا يستطيع المرء أن يتحدث عن مدى خطر الكارثة بدون أن ينظر أمر المكان الذى اختار الناس أن يعيشوا فيه ومدى كثافة ازدحامهم معًا.

والعدد الحالى لسكان العالم يبلغ زهاء ٥٧٠٠٠٠٠٠٠٠ (٥،٧ بليون)، يعيش خمسهم تقريبًا في الصين. والبلد الثانى في كثرة السكان هو الهند، تليها الولايات المتحدة ثم أندونيسيا. على أن أعداد السكان في الدول لا تعطى لنا صورة حقيقية عن توزيع السكان في الكرة الأرضية، لأن البلاد المختلفة لها مساحات مختلفة.

وثمة مقياس أفضل نوعًا وهو عدد السكان لكل وحدة من مساحة الأرض. قد رتبت في جدول (١،٤) .

بعض البلاد الممثلة حسب ترتيب متوسط الكثافة السكانية فيها، بعدد الأفراد لكل كيلو متر مربع.

وبهذا المقياس فإن أشد البلاد ازدحامًا بالكثافة السكانية في العالم هى بنجلاديش، وهى في المتوسط مزدحمة بثمانية أمثال الصين. والحقيقة أن الصين تنزلق بعيداً عن قمة القائمة عندما نرتب البلاد حسب الكثافة السكانية وليس حسب إجمالى السكان.

جدول (١.٤) السكان ومتوسط الكثافة السكانية لدول مختارة

الدولة	عدد السكان (بالملايين) في ١٩٩٢	عدد السكان لكل كم٢
بنجلاديش	١١٩	٨٢٤
تايوان	٢٠,٩	٥٨١
كوريا الجنوبية	٤٤,٢	٤٤٨
هولندا	١٥,١	٣٧٠
اليابان	١٢٤,٥	٣٢١
الهند	٨٨٦,٤	٢٧٠
بريطانيا العظمى	٥٧,٨	٢٣٧
إسرائيل	٤,٨	٢٣٤
الفلبين	٦٤,١	٢٢٤
إيطاليا	٥٧,٩	١٩٢
كوريا الشمالية	٢٢,٣	١٨٤
بولندا	٣٨,٤	١٢٢
الصين	١١٧٠	١٢٢
إندونيسيا	١٩٥	١٠١
مصر	٥٦,٤	٥٦
المكسيك	٩٢,٤	٤٧
إثيوبيا	٥١,٤	٤٥
الولايات المتحدة	٢٥٧	٢٧
الكاميرون	١٢,٦	٢٧
روسيا	١٤٩,٥	٨,٥
كندا	٢٧,٤	٢,٧
أستراليا	١٧,٦	٢,٣
العالم	٥٧,٠٠	٣٦,٧
العالم باستثناء قارة القطب الجنوبي	٥٧٠٠	٤٠,٤

ملحوظة : الكيلو متر مربع = ٣٨٦, ٠ ميل مربع

يبين جدول (١.٤) أن أعلى مناطق العالم فى الكثافة السكانية هى فى جنوب شرق آسيا، وجزر الهادى الغربية، وغرب أوروبا. وعلى نقيض ذلك فإن أفريقيا والأمريكتين وأستراليا فيها متوسط كثافة سكانية أقل كثيراً. ومع ذلك فإن ثمة حقيقة تجعلنا متيقظين وهى أننا نحن البشر قد نجحنا فى مضاعفة أعدادنا حتى إننا وصلنا الآن إلى أن متوسط الكثافة السكانية فى العالم ككل (باستثناء القطب الجنوبى) يزيد عن ٤٠ فرداً للكيلو متر المربع (١٠٠ للميل المربع)، ويطرح هذا أنه لم يبقِ فى كوكبنا سوى أماكن قليلة جداً يمكن للطبيعة فيها أن تنطلق ثائرة بدون أن تؤثر فى عدد كبير من أفراد نوعنا .

ومع ذلك، فمن المهم أن نتذكر أنه حتى فى داخل الدولة الواحدة يتباين متوسط الكثافة السكانية تبايناً له قدره من مكان لآخر. ومن الواضح أن أعلى الكثافات السكانية موجودة فى المدن (وهذا ما يجعل منها مدناً). وأعلى المدن فى الكثافة السكانية فى العالم هى هونج كونج، حيث متوسطها ٩٥٥٣٥ من السكان لكل كيلو متر مربع (٢٤٧٥٠٠ للميل مربع) بما يصل تقريباً إلى ٢٢ مثلاً لكثافة السكان فى نيويورك ولما يزيد عن ٢٧ مثلاً لمدينة لوس أنجلوس المزدحمة. وأعلى مدن العالم فى الكثافة السكانية بعد هونج كونج هى بالترتيب: لاجوس فى نيجيريا، ودكا فى بنجلاديش، وجاكرتا فى أندونيسيا، وبومباى فى الهند، ومدينة هوشى منه فى فيتنام، وأحمد أباد فى الهند، وشنغهاى فى الصين. وفى هذه الأماكن تعتمد أعداد هائلة من الأحياء على استمرار سلامة البنية التحتية الفيزيقية. ولو حدث وقامت أمنا الطبيعة بوقف عمل الطاقة، أو إعاقة منظومة المياه، أو منع نقل الطعام، أو رج المبانى لتقع أرضاً، أو بدء حرائق معدودة، فإن تأثير ذلك سيكون كارثة للكثيرين والكثيرين من السكان.

الناس الذين يعيشون فى مناطق ذات كثافة سكانية عالية حساسون أقصى الحساسية لأى انهيار فى الشبكة التى يعتمد بها أحدهم على الآخر.

وعندما يكون هناك مجتمع زراعي مأهول بعـــدد ســكان ضئيل متناثر، فإن زلزالاً شديداً قد يسبب دماراً له قدره في المنشآت، ولكن من ينجون أحياء لن تكون لديهم مشاكل في العثور على طعام وماء لاستمرار بقائهم، ولن تكون هناك أي عقــبات رئيســية في القيام بإصلاحات مؤقتة لبيوتهم وحظــائرهم. وســنجد أن هذا بالمقــارنة يتناقض مع تأثير حدث مماثل على ساكني الشقق العلــيا في مدينة كبيرة. فقد يصبح الطــعام غير متاح لأن الطرق والجسور قد تلفت، وقد تنقــطع خدمة المياه (أو تتلــوث مــصادر المياه)، وستكون الإصلاحات الإنشائية لمباني الخرسانة المسلحة أمراً يتجاوز كثيراً قدرات ســكان الشــقق أنفسهم. وفي الوقت نفســه فإن الفرد الذي ينجو حيًا يجب أن يتنافس مع الناجين الآخرين على موارد الحــفاظ على الحياة التي تصير قليلة، بما في ذلك الإيواء المؤقــت. فـالحــيـاة في منطقة ذات كـثـافـة سكانية عالية تعني دائمًا التضـحية بالاكتــفاء الذاتي. وفي هذه الظروف، فإن مـعظم الناجين من كارثة ما لا يكون أمامهم خيار ســوى انتظار جهود الغوث التي تنظمها الحكومة .

وفي الأمـم المزدهرة (مثلاً أمة لها إجمالي ناتج محلي عالٍ بالنسبة لكل فرد)، تكـون إغـاثة الـكوارث عـادة سريعـة وفعـالة على نحـو مـعـقـول، على الرغم من المضـاعفات البيروقراطية الحتمية. وسرعان ما يحصل معظم الناجين على الطعام والملبس والإمداد بالرعاية الطبية والمأوى المؤقت. ونادراً ما يحدث في دولة متقدمة أن يعقب الكارثة انتشار وباء للكولـيرا أو أي مـرض آخر مما يصـاحب صحـة البيئـة السيئة. أما في الأمم الفقيرة، فيكون من المرجح أن يتفاقم تأثير الكارثة بسبب لوائح البناء المتراخية وفرط إجهاد البنية التحتية، وهنا كثيراً ما تكون جهود الإغاثة قليلة لأدنى حد و/أو غير فعالة. وهكذا فإن العوامل الاقتصادية تسهم بالفعل إسهامًا له قدره في معاناة البشر وفي قوائم الوفيات النهائية من الكوارث في دول العالم ذات التنمية المتخلفة.

فيضانات بنجلاديش

تقع دولة بنجلاديش ملاصقة لحدود الهند الشمالية الغربية، وعدد سكانها ١١٩ مليون في مساحة أصغر من ولاية ويسكونسن (الأمر الذى يعطيها كما ذكرنا من قبل أعلى متوسط كثافة سكانية في أى بلد في العالم). ويتألف نحو ٨٠٪ من المنطقة من سهل عريض مسطح يقع على ارتفاع أعلى قليلاً من سطح البحر، وينقسم إلى آلاف من الجزر بواسطة نهرى الجانجز وبراهما بوترا ودلتاهما ومئات من روافدهما وجداولهما[٤]. ومناخ بنجلاديش يعد من أكثر المناطق مطراً في العالم، وأنهارها (التى تجمع المياه من داخل الهند غرباً ومن جبال الهملايا شمالاً) تفيض على نحو جد منتظم أثناء فصل الأمطار الموسمية. وإذا حدث أن فاضت الأنهار الكبرى في الوقت نفسه، تكون بنجلاديش في كارثة. وإذا فاضت الأنهار عندما يكون المد عاليًا في خليج البنغال، تتفاقم الكارثة. وإذا تصادف أن تزامنت عاصفة استوائية مع هذه الأحداث، فإن تأثير ذلك في البشر يمكن أن يكون هائلاً.

والعاصفة الاستوائية بسبب ضغطها الجوى المنخفض، ترفع المد إلى ارتفاع شاذ. ولما كانت المياه لا تستطيع أن تنساب حرة إلا أسفل انحدار، فإن هذه البروزات المدّية ذات الارتفاع البالغ تعوق خروج المياه من دلتاوات الأنهر. وعواقب ارتداد المياه يكون لها نتائج أشد خطورة من مجرد فيضان عادى، فيحدث فيضان تصحبه أمواج عنيفة تدفعها الريح فتكتسح مسافات كبيرة من الأراضى الداخلية بعيداً عن الشاطئ الذى أصبح الآن مغموراً. وتدمر المنشآت من أساسها حتى تلك التى ترفع فوق ركائز. وفى مكان مثل بنجلاديش حيث لا يوجد إلا القليل من الأراضى النفيسة المرتفعة هوناً لتصلح لفرار اللاجئين إليها، فإن كل هذه التوليفة من الظروف يمكن أن تؤدى، بل وكثيراً جداً ما تؤدى بالفعل، إلى كارثة كبرى .

فى السنوات الخمس والثلاثين الأخيرة عانت بنجلاديش على الأقل من سبع كوارث طبيعية كبرى تتلاءم مع السيناريو الأساسى الذى وصفناه فى التو[٥] :

مايو ٩ – ٢٨	١٩٦٣	٢٢٠٠٠ وفاة
مايو ١١ – ١٢	١٩٦٥	١٧٠٠٠ وفاة
يونيو ١ – ٢	١٩٦٥	٣٠٠٠٠ وفاة
ديسمبر ١٥	١٩٦٥	١٠٠٠٠ وفاة
نوفمبر ١ ٣	١٩٧٠	٣٠٠٠٠٠ وفاة
مايو ٢٥	١٩٨٥	١٠٠٠٠ وفاة
أبريل ٣٠	١٩٩١	٢٠٠٠٠ وفاة

ومما تتميز به الكوارث أن قوائم الوفيات هذه لا تكشف إلا عن جزء صغير من المأساة البشرية. ومن بين سكان بنجلاديش الحاليين نجد أن ما يزيد عن النصف قد أصبحوا بلا مأوى بسبب قوى الطبيعة لمرة واحدة على الأقل أثناء حياتهم، وهناك عائلات عديدة حدث لها ذلك مرات متعددة. وكمثل، فإنه فى عامى ١٩٨٨، ١٩٨٩ وحدهما، حيث لم يمت من الفيضان إلا ٤٠٠٠ فرد فقط، خلف الفيضان عدداً يبلغ ٣٠ مليون فرد بلا مأوى، وفى الفيضان العظيم الذى حدث عام ١٩٩١، هلك ١٣١٠٠٠ فرد، وفقد السكان أيضًا ما يزيد عن ٥٠٠٠٠٠ من الماشية، وفقد ١٠ ملايين فرد بيوتهم. وبالإضافة، فإن بنجلاديش فيها طبيب واحد فقط لكل ٥٥٠٠ فرد (بالمقارنة بطبيب لكل ٤٠٤ أفراد فى الولايات المتحدة)، والأطباء أنفسهم ليسوا بأى حال محصَّنين ضد أن يكونوا من ضحايا الفيضانات. وكنتيجة لذلك، فإن كل فيضان من الفيضانات الكبرى فى هذا البلد يعقبه مباشرة تفشِّى أمراض لا تعالَج وتؤدى إلى وفاة عدد إضافى كبير من الأفراد.

ومن بين الفيضانات الكبرى التى حدثت على نطاق العالم فى القرن العشرين والتى أدت إلى وفاة ١٠٠٠٠٠ فرد أو أكثر، سنجد أنها كلها فيما عدا ثلاثة وأربعة قد حدثت فيما يسمى الآن بنجلاديش. ويطرح هذا النموذج التاريخى أنه كان ينبغى النظر فى أمر بعض حلول هندسية، ربما بما يماثل صفوفًا من السدود وبوابات البحر

كالتى بناها الهولنديون لحماية أرض بلادهم المنخفضة من بحر الشمال. ولسوء الحظ، فإن بنجلاديش أفقر جداً من أن تقيم نظام سدود له جودته. ويبلغ سكان هولندا ١٥ مليونًا، أو نحو ١٣٪ من سكان بنجلاديش، إلا أن إجمالى ناتجها المحلى هو ١٧٥ بليون دولار فى السنة، أى أكثر من ١١ مثلاً لإجمالى الناتج المحلى لبنجلاديش وهو ١٥,٦ بليون دولار. ورأس المال المتاح فى بنجلاديش هو فى الإجمال غير كافٍ لتمويل حلول هندسية كبيرة (وصعبة صعوبة لا تصدق) بالنسبة للكوارث المتكررة لذلك البلد. فمن المؤكد أن فيضانًا هائلاً سوف يضرب ضربته ثانية، ومن المؤكد أن سيموت آلاف آخرون.

ويبدو هذا الحال من المشاكل الميئوسة كجبل موت يتزايد بالنسبة لهذه الدولة، ذلك أنه إذا كان عشرات الألوف يموتون فى الفيضانات الكبرى كل بضع سنوات، ألن ينتهى الأمر بانكماش عدد السكان ليصبح فى الواقع صفرًا؟ والإجابة هى لا. والحقيقة أن عدد سكان بنجلاديش قد تزايد بالفعل خلال السنوات الأخيرة بمعدل ٢,٢٪ فى السنة. وبكلمات أخرى، يزيد السكان فى كل سنة بنسبة ٢,٢٪ من ١١٩ مليون، أى حوالى ٣ ملايين. ولو طرحنا من ذلك عشرات معدودة من الآلاف ممن تقتلهم عاصفة استوائية، فلن يؤثر ذلك مطلقًا فى الاتجاه إلى التزايد.

إلا أنه مع استمرار تزايد السكان، يصبح هناك عدد متزايد من الأفراد الحساسين لمخاطر العاصفة الاستوائية التالية، ويزداد ابتعاد أى توقع لحمايتهم. وهكذا فإن بنجلاديش لها ميزة ملتبسة بأن ترتيبها هو الأول بين دول العالم بالنسبة لاحتمالات البؤس البشرى بسبب ما سيحدث فى المستقبل من كوارث طبيعية .

القانون الطبيعى للتزايد

حسابات التزايد بمتوالية هندسية يمكن أن تؤدى إلى استنتاجات مذهلة مخيفة. ولننظر أمر حكايات الألغاز التالية[٦] :

الحكاية الأولى: أراد أحد الملوك أن يكافئ خادمًا مخلصًا، فطلب من الرجل أن يذكر حاجته. وأجاب الخادم وهو يرقب لوح شطرنج الملك، أنه يرغب فى حبة أرز واحدة لأول مربع على اللوحة، وحبتين للمربع الثانى، وأربع حبات للثالث، وهلم جراً، مضاعفًا رقم حبات الأرز لكل مربع حتى المربع الرابع والستين. ووافق الملك سريعًا على هذا المطلب جد المتواضع، ووجّه واحداً من وزرائه للذهاب إلى مخازن الحبوب ليحصى الأرز الخارج منها. وبعد عدة ساعات رجع الوزير إلى الملك مذعوراً. فقد تبين فى النهاية أنه لا يوجد فى المملكة الأرز الكافى لتلبية رغبة الخادم، بل ولا حتى فى كل العالم! فالخادم يستحق فى المربع الرابع والستين وحده ٩١١١٣٣٧٢٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠ من حبات الأرز، وهو ما سيزن نحو ٧ بلايين طن !

الحكاية الثانية: كان هناك كاتبة تحقيقات صحفية لها طموحها ولكنها بلا خبرة، وقد توسلت إلى رئيس تحرير أن تشتغل فى جريدة يومية كبرى. وحين سُئلت عما تعد أنه مرتب عادل لها، مع عدم خبرتها، ردت الكاتبة بأنها ستقبل سنتًا(*) واحداً عن أول يوم عمل، وسنتان عن اليوم الثانى، وأربعة سنتات عن اليوم الثالث، وهلم جرا، بما يضاعف مرتبها فى كل يوم لمدة الأسابيع الأربعة الأولى، أو لمدة ثمانية وعشرين يومًا. ووافق رئيس التحرير سريعًا على هذا الطلب جد المتواضع وأرسل توجيهًا بذلك إلى قسم الأجور. ونتيجة لذلك، فإن كاتبة التحقيقات كسبت عند نهاية الشهر ما يكفى لأن تعتزل العمل .

وهاك كيف تنامى مرتبها:

اليوم	المرتب اليومى	إجمالى الأسبوع
١	٠,٠١ دولار	
٧	٠,٦٤	إجمالى أول أسبوع = ١,٢٧
١٤	٨١,٩٢	إجمالى ثانى أسبوع = ١٦٢,٥٦ دولار
٢١	٥٢٤٢,٨٨	إجمالى ثالث أسبوع = ١٠٤٠٣,٨٤ دولار
٢٨	٣٣٥٥٤٤,٣٢	إجمالى رابع أسبوع = ٦٦٥٨٤٥,٧٦ دولار

(*) السنت واحد على مائة من الدولار الأمريكى (المترجم) .

الحكاية الثالثة: ثمة نبات مائي ينبت فوق سطح بركة، ويزداد قدره كل يوم إلى الضعف (أي أن كل خلية فيه تنقسم مرة كل يوم). وفي ثلاثين يومًا، سيغطي هذا النبات البركة بالكامل. وإذا قرر صاحب البركة استئصال هذا النبات عندما يغطي فحسب نصف البركة، في أي يوم سيحدث ذلك؟ لا، ليس هناك أي خدعة هنا، فمن الواضح أن النبات سيغطي نصف البركة في اليوم التاسع والعشرين. على أن العبرة هي التالي: إن كارثة اختفاء البركة وشيكًا لا تكون ظاهرة إلا عندما لا يتبقى سوى وقت قليل نفيس للتصرف في الأمر.

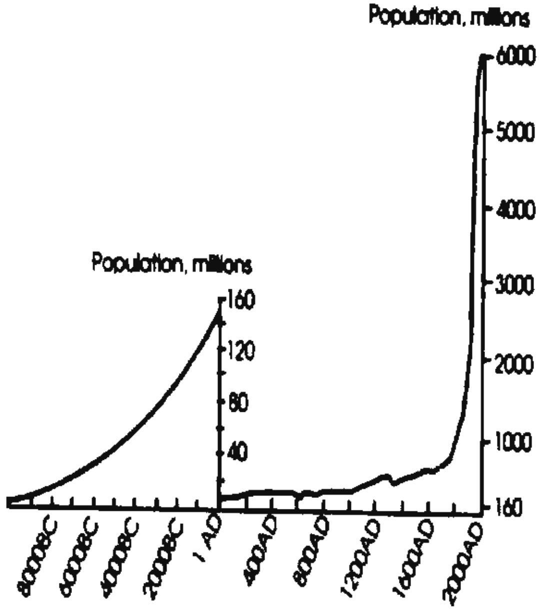
مادام هناك موارد متاحة تكفي للإبقاء على الحياة، سيظل السكان البشر يتزايدون عبر الزمن بمتوالية هندسية. وبكلمات أخرى فإن عدد الأفراد الذين سيضافون إلى السكان يعتمد على عدد الناس الأحياء الموجودين من قبل: فكلما كان عدد السكان أكبر حدث تزاوج أكثر وزاد عدد المواليد الذين سيدفعون إلى زيادة السكان في المستقبل. على أنه إذا كانت الزيادة سوف تستمر بهذه الطريقة بدون وضع حد لها، فسيكون من المؤكد في النهاية أن عدد السكان سيفوق الموارد المحلية اللازمة للإبقاء عليهم. وهذا ما يبدو أنه يحدث في أماكن مثل بنجلاديش، بلد ربما يكون بالفعل قد وصل تمامًا إلى يومه التاسع والعشرين مجازًا.

واهتمامنا بالنمو السكاني ينطبق على الميكروبات مثل ما ينطبق على الناس. وقد يُعدى أحد الأفراد بمزرعة يتزايد أفرادها من الكائنات الحية الدقيقة ويستمر ذلك لزمن طويل نوعًا دون أن تظهر عليه أي أعراض، ثم يصحو ذات صباح ليحس فجأة وكأنه قد دهسه قطار بضاعة. ويخبرنا القانون الطبيعي للتزايد أنه يمكن أن يكون هناك فارق عنيف بين اليوم التاسع والعشرين واليوم الثلاثين.

ولكن هل يتضاعف السكان بالفعل بكل هذه السرعة؟ و"السرعة" كما رأينا من قبل مصطلح نسبي. والرسم البياني في شكل (٤ . ١) يبين أننا عندما ننظر إلى الصورة الموسعة، فإن سكان كوكبنا من البشر يتزايدون حقًا زيادة درامية، ومعظم هذه الزيادة قد حدث فحسب خلال الأجيال القليلة الأخيرة.

ومن المفاهيم المفيدة هنا مفهوم "زمن المضاعفة". إذا كان السكان يتزايدون فى ثبات فإنهم فى النهاية سيتضاعفون. والزمن الذى سيتضاعفون فيه يعتمد على صافى معدل الزيادة، الذى يعبر عنه بأحسن صورة ملائمة كنسبة مئوية:

صافى معدل الزيادة (٪) = معدل المواليد (٪) - معدل الوفيات (٪) + صافى معدل الهجرة (٪) .



شكل (٤ . ١) تزايد سكان العالم. معدل الزيادة الحالية نحو ١,٨ لكل سنة، وهذا يؤدى إلى مضاعفة العدد كل تسع وثلاثين سنة.

وكمثل، إذا كان هناك دولة فى جزيرة لها معدل مواليد من ١٠٪ لكل سنة، ومعدل وفاة من ٢٪ فى السنة، وصافى معدل هجرة من ١٪ فى السنة (أى الأفراد الذين يرحلون)، فسيكون صافى معدل الزيادة هو إذن ٧٪ وقد يبدو أن هذا معدل ليس كبيراً جداً، ولكنه فى الحقيقة كذلك. هيا نرقب ما سيحدث إذا تزايد سكان عددهم ١٠٠٠٠٠ بمعدل ٧٪ لكل سنة :

السنة	السكان
صفر	١٠٠٠٠٠
١	١٠٧٠٠٠
٢	١١٤٤٩٠
٣	١٢٢٥٠٤
٤	١٣١٠٨٠
٥	١٤٠٢٥٥
٦	١٥٠٠٧٣
٧	١٦٠٥٧٨
٨	١٧١٨١٩
٩	١٨٣٨٤٦
١٠	١٩٦٧١٥
١١	٢١٠٤٨٥

بيُن هذا الحساب أن معدل تزايد يبلغ فحسب ٧٪ لكل سنة سيؤدى إلى مضاعفة السكان بعد ١٠ سنوات، وبحساب مماثل سيثبت أنه مع معدل تزايد من ٣,٥ ٪ لكل سنة، سوف يتضاعف السكان في ٢٠ سنة. وفي حالة بنجلاديش مع معدل تزايد من ٢,٣٪ فإن زمن مضاعفة السكان يبلغ قرابة ٣٠ سنة.

وهناك طريقة بسيطة للوصول إلى زمن المضاعفة بدون القيام بعملية حسابية طويلة. والمعادلة هي كالتالي:

$$\text{زمن المضاعفة} = \frac{٧٠}{\text{معدل التزايد بنسبة مئوية}}$$

وكمثل، فإن معدل تزايد من ٢٪ لكل سنة يضاعف السكان فى ٣٥ سنة، وعند معدل تزايد يبلغ فحسب ٠,٥٪ سيتضاعف السكان أيضًا بعد ١٤٠ سنة[٧]. دعنا نلاحظ أن معدل التزايد الوحيد الذى لا يؤدى إلى المضاعفة فى النهاية هو صفر٪ أقل). يبلغ عدد سكان العالم حاليًا ٥,٧ بليون، بينما يقف معدل التزايد عند نحو ١,٨٪ . وإذا لم يُفعل شىء للإقلال من معدل التزايد، سيكون فى إمكاننا أن نتوقع أن يزيد عدد سكان العالم إلى ١١,٤ بليون بعد تسعة وثلاثين عامًا. هيا نلقى نظرة على خريطة ، لنتخيل مضاعفة عدد المدن والحواضر، أو مضاعفة حجم كل منها فى ٣٩ سنة فحسب. أو إذا نظرنا للأمر بطريقة أخرى، فأى عدد منا يستطيع بأمانة أن يتصور إضافة ١٠ مدن فى حجم لوس أنجلوس إلى الكرة الأرضية سنويًا؟ على أن هذا هو بالضبط ما نقوم بعمله بالفعل فوق كوكبنا. وفى السنوات المستقبلة، مع وجود الاتجاهات الحالية، فإن السيناريو المتوقع يصبح أسوأ: فسوف نضيف ما يساوى ٢٠ مثلاً لسكان لوس أنجلوس سنويًا، ثم ٤٠ مثلاً، ثم ٨٠ مثلاً، وهلم جرًا.

والنتيجة التعسة لتزايد السكان السريع هى أن المدن ذات البنية التحتية غير الوافية أصبحت تتزايد انتشارًا فى أرجاء العالم، ويتزايد سريعًا عدد البشر الذى يجدون أنفسهم وهم يعتمدون فى المدن على بنية تحتية جد مجهدة لتمدهم باحتياجاتهم الأساسية. والكثير من المدن الآن ينقصها بالفعل ما هو وافٍ من نظم المياه، ونظم المجارى، والخدمات الطبية، وشبكات توزيع الطعام والوقود، التى تخدم كلها الاحتياجات اليومية لسكان المدن الحاليين . وهناك مشاكل مثل انقطاع الطاقة وتعطل المواصلات لا تظهر فحسب كأعراض مرضية لضغوط السكان، ولكنها أيضًا حتى فى أحسن الظروف، تخلق أحوالاً من الإزعاج واسع الانتشار، إن لم تخلق أحوالاً من الأذى بالكامل. والآن، ها هى أمنا الطبيعة تضيف حدثًا من فواقها إلى هذا الوضع من الأمور المحفوفة بالمخاطر. ستكون النتيجة التى لامفر منها أنه مع استمرار تزايد سكان المدن، فإنهم سيصبحون أكثر حساسية للكوارث الطبيعية. ولعل هذا هو فى النهاية أسلوب أمنا الطبيعة لتعود بنا نحن البشر إلى حالة توازن مع كوكبنا.

ثمة شىء واحد أكيد: إن اتجاهات تزايد السكان الحالية لا يمكن أن تستمر إلى ما لا نهاية. ولو استمرت، فسيكون من السهل التنبؤ بأن عدد سكان العالم الحالى

سوف يتضاعف إلى حوالى ١١ بليونًا بحلول عام ٢٠٣٢، وبحلول عام ٢٠٧٢، فإن أطفالنا هم وسلالتهم سيشهدون تضاعفًا آخر إلى ٢٢ بليونًا. وحوالى سنة ٢١٦٠، سنجد أن مساحة الأرض كلها فى عالمنا، بما فى ذلك الصحارى والمثلجات(*)، ستكون مسكونة بكثافة تساوى كثافة السكان الآن فى بلاد بنجلاديش. وفى ٥٧٠ سنة، سينخفض حيز وقوف الفرد منا إلى متوسط من متر مربع واحد (١١ قدمًا مربعًا) لكل شخص، وحتى نرقد للنوم، سيلزم أن نفعل ذلك فى نوبات. وبالطبع فإن السيناريو يصبح مضحكًا قبل أن نصل إلى هذا الحد بزمن طويل، ذلك أنه حتى أضخم التقديرات لقدرة كوكب الأرض على حمل الناس، يُطرح فيه حد أعلى مطلق يقع فى مكان ما بين ١٠ و١٥ بليونًا من الأفراد[٨]. وبكلمات أخرى، فإننا بالفعل فى اليوم التاسع والعشرين .

كارثة جزيرة إيستر (الفصح)

لم يستطع العلماء إلا فى السنوات المعدودة الأخيرة أن يجمعوا الأجزاء معًا للوصول إلى تفسير له مصداقيته للكارثة التى حلت بجزيرة إيستر، وهى جزيرة صغيرة معزولة فى جنوب المحيط الهادى. كانت هذه الكارثة حدثًا تدريجيًا ، كما يكون الحال دائمًا مع الكوارث الطبيعية التى تمتد عبر أجيال عديدة وربما عبر قرون معدودة. وكانت النتيجة المروعة هى تدمير لا رجعة فيه لثقافة كاملة هى والمنظومة البيئية التى دعمتها، مع موت آلاف كثيرة من البشر. واختفت الغابات والمحاصيل الغذائية، وانتهى تشييد السفن لنقص الأخشاب (واختفى معه محصول الغذاء البحرى)، وتحلل التنظيم الاجتماعى، واتخذ الناس مثواهم فى الكهوف، ذلك أنه لم يعد هناك بعد أى مواد بناء لتوفير المأوى. كان هناك ذات يوم مجتمع تعاون أفراده فى تشييد ونقل نصب حجرية هائلة، إلا أنهم ارتدوا إلى الحروب القبلية، وأكل لحم البشر، بل حدث فى النهاية أن ضاع حتى التراث الشفاهى لهذه المدنية القديمة.

(*) المثلجة : تجمع جليدى عظيم غير ثابت قد يتحرك فى مجار تشبه الأنهار (المترجم).

ولا يوجد فوق الأرض مكان مسكون أكثر عزلة عن جزيرة إيستر. والأهالى المحليون الذين كانوا يقيمون فيها فى سنوات القرن الثامن عشر لم يكن لديهم حتى اسم يطلقونه على موطنهم، والسبب ببساطة أنهم لم يكونوا على علم بوجود أى مكان آخر. وكان عليهم أن يسافروا مسافة ٣٢٠٠ متر (٢٠٠٠ ميل) تجاه الشرق حتى يصلوا إلى أمريكا الجنوبية، وأن يسافروا مسافة ٢٢٠٠ كيلو متر (١٤٠٠ ميل) تجاه الغرب ليصلوا إلى أول جزر فى أرخبيل تواماتوا. إلا أن قواربهم الوحيدة كانت جد بدائية، وتسربت المياه حتى إنها كانت تصبح غير صالحة للإبحار بعد أن تبقى فى الماء لما لا يزيد عن ساعات معدودة. وظل الأهالي حتى القرن الثامن عشر يعتقدون أن جزيرتهم التى تبلغ مساحتها ١٦٠ كيلو مترًا مربعًا هى وما يرونه من الأفق يشكلان كل العالم.

عندما رسا المكتشف الهولندى جاكوب روفين لأول مرة على أرض الجزيرة يوم أحد عيد الفصح من عام ١٧٢٧، وكذلك عندما وصل البريطانيون بقيادة كابتن كوك إلى الجزيرة بعد ذلك بخمسين سنة، وجدوا نحو مائتى تمثال حجرى عملاق لها ملامح بشرية ذات أسلوب متماثل تنتصب كحراس يجابهون البحر فى وحشة (شكل ٤ . ٢). وكان بعض هذه النصب يصل ارتفاعه إلى ١٠ أمتار (٣٣ قدمًا) ويزن ما يبلغ ٨٢ طنًا. وكان الكثير منها يقف فى صفوف فوق منصات ضخمة ذات واجهة حجرية، طولها ١٥٠ مترًا (٥٠٠ قدم) وارتفاعها ٣ أمتار (١٠ أقدام). أما المحاجر التى كانت تبعد عن هذه النصب بعشرة كيلو مترات، فقد وجد فيها على الأقل سبعمائة تمثال إضافية وقد خُلفت وهى فى مراحل شتى من إكمالها.



شكل (٤ ، ٢) « المواى » ، تماثيل من حجارة ضخمة فى جزيرة إيستر ، وهى بقايا مدينة دمرتها النتائج البيئية لتزايد سكانها زيادة مفرطة

وبعضها كان ارتفاعه يصل إلى ٢٠ متراً (٦٥ قدماً) ويصل وزنه إلى ٢٧٠ طناً. كيف أمكن لهؤلاء الناس البدائيين الذين يصل عددهم إلى ما يقرب فحسب من ٢٠٠٠ فرد (كما سجل المكتشفون الأوائل) والذين ينفقون معظم وقتهم في البحث عن الطعام وفي القتال أحدهم مع الآخر، كيف أمكن لهم أن ينحتوا، وينقلوا ويقيموا هذه النُّصُب الرائعة؟

من الواضح أن مثل هؤلاء ما كانوا يستطيعون ذلك ، فالمحاجر الرئيسية توجد عند طرف الجزيرة الشمالي الشرقي، بينما النُصُب عند الطرف الآخر. أما الحجارة الحمراء التي استُخدمت لتيجان بعض التماثيل فكانت تأتي من المحجر الداخلي في الجنوب الغربي، بينما أتت أدوات نحت الحجر من الشمال الغربي. وكان أحسن أراضي المزارع في الجنوب والشرق، وأحسن أماكن صيد السمك على الساحلين الشمالي والغربي ، ومن الواضح أنه كان هناك ذات يوم تنظيم سياسي مركزي فعال يحكم كل سكان الجزيرة. ولعل عدد هؤلاء السكان كان يصل إلى ما يقرب من ٢٠٠٠٠ عند ذروته [٩]، وإن كل هؤلاء الناس منذ بعض زمن سحيق كانوا يعملون معًا بدلاً من أن تتعارض أهدافهم .

وإذن ما الذي حدث؟ هناك إجابة تتفق مع نصل أوكام يمكن تجميع أجزائها معًا بتجميع نتائج الحفريات الأثرية، وعد حبوب اللقاح في حفريات طبقات الأرض، وتحديد التاريخ بالكربون المشع، وتحاليل دنا(*) في بقايا البشر. وتجميع كل الأدلة الموجودة حاليًا يعطينا القصة العامة التالية[١٠] :

في وقت ما بين سنتي ٤٠٠ و٧٠٠ للميلاد حدث أن البحارة البولينيزيين الذين استعمروا فيجي وساموا وتاهيتي واصلوا الاندفاع شرقًا في مياه غير مرسومة على الخرائط، وقد شجعهم على ذلك ، بلا شك ، نجاحهم فيما مضى في أن يجدوا دائمًا جزيرة جديدة أخرى يقيمون فيها. على أنهم هذه المرة لم يجدوا أمامهم جزيرة جديدة على مدى مسافة معقولة. وفيما يُحتمل فإن معظم السفن المسافرة لم تتمكن أبداً من

(*) دنا : هو الحامض النووي : دي أوكس ريبو نيكليك ، وهو المكون الأساسي للجينات التي تحمل الصفات الوراثية (المترجم) .

الرسوّ بالفعل على البر ثانية، وهلك أصحابها في الفراغ الهائل غير المتوقع في جنوب شرق المحيط الهادى. على أن قلة من هؤلاء المغامرين البولينيزيين تصادف بالفعل أن وقعوا على جزيرة إيستر، وجلبوا معهم إلى البر بضائعهم المعتادة من نبات الموز، والقلقاس، والبطاطا، وقصب السكر، والتوت، والزجاج ومع كل هذا الجرذ الموجود في كل مكان وزمان.

في ذلك الوقت كان معظم جزيرة إيستر مغطى بغابة مورقة شبه استوائية. ووفر العديد من أشجار الهاوهاو المادة الخام اللازمة لصنع الحبال، وزودت أشجار التوروميرو بكمية كثيفة من حطب النيران. وفيما يبدو كانت أكثر الأشجار شيوعًا نخلة جوز هند منقرضة الآن وكانت تنمو لارتفاع ٢٥ مترًا (٨٢ قدمًا) وقطرها يصل إلى مترين (٦ أقدام). وجذعها مثالي لبناء السفن، وجوزها صالح للأكل، وعصارته حلوة مغذية. وكانت الجزيرة مأوى يتربى فيه ما لا يقل عن خمسة وعشرين نوعًا من الطيور، وهناك ما يدل على أن حيوانات الفقمة كانت تعيش هناك ذات يوم في مستعمرات لها قدرها. وجزيرة إيستر بموقعها عند خط عرض ٢٧ جنوبًا تكون في الخارج مباشرة من المنطقة الاستوائية، ومياهها المحلية هي إلى حد ما أبرد من أن تعيش عليها الحواجز المرجانية التي تعيش عليها أعداد كبيرة من السمك الاستوائي. ولكن حتى في هذا الأمر كان المستعمرون البولينيزيون لإيستر محظوظين، ذلك أنه كان يمكن العثور على أعداد كبيرة من الدرافيل في المياه العميقة التي تبعد فحسب كيلومترات معدودة في البحر خارج الجزيرة. ومن الواضح أن هؤلاء المهاجرين الجدد كانوا أناسًا على معرفة بطريقة بناء سفن تصلح للملاحة وتتيح لهم أن يرتحلوا لصيد السمك بالحراب. وإذن فإن جزيرة إيستر كانت في أول الأمر مكانًا سخيًا بالموارد لإنشاء مستوطنة بشرية.

وبحلول سنة ٨٠٠ ميلادية كان موت الغابات قد سرى في إيستر منذ زمن له قدره. ومع ذلك ظل الطعام وفيرًا حتى سنة ١٣٠٠ على الأقل. وتخبرنا مقالب القمامة في هذه الفترة بأن اللحم في الغذاء كان ثلثه تقريبًا من الدرافيل، وربعه من السمك، والباقي من طيور البحر وطيور البر والمحار البحرى والجرذان والفراخ المدجنة، وربما أحيانًا الفقمة، وكل هذا بالإضافة إلى غذاء كافٍ من الخضروات. وكان السكان يتكاثرون ويزودون

مستودعاً وافراً بقوة العمل اللازمة لمشروع طموح للأعمال العامة. وهذا المشروع، لنقل وإقامة التماثيل الحجرية العملاقة، كان بدوره يعجل من محو الغابات التى كان المجتمع كله يعتمد عليها أكبر الاعتماد. فكانت هناك حاجة الآن للأخشاب لصنع مزالج وروافع بالإضافة إلى القوارب والمساكن، وكان هناك حاجة للحبال لسحب التماثيل ورفعها فى موضعها، وكل هذا عجّل بانقراض شجرة الهاوهاو.

ونحن لا نعرف متى نُحتت ونُصبت أول التماثيل، ولكن يبدو أن معظمها يرجع تاريخه إلى نحو سنة ١٢٠٠ إلى ١٥٠٠، ثم تم هجر المحاجر عموماً بعد حوالى سنة ١٥٠٠ ، وتخبرنا سجلات حبوب اللقاح أن آخر شجرة نخل كبيرة قد اختفت بعد سنة ١٤٠٠ بزمن قصير. وعندما اختفت الغابة، زاد تآكل التربة، وبدأت الينابيع والجداول تجف، وهبط إنتاج المحاصيل. ولم تعد عظام الدرفيل توجد فى أكوام القمامة بعد حوالى سنة ١٥٠٠؛ فعندما لم يتبق بعد أشجار كبيرة، لم يعد من الممكن بناء سفن تأخذ الأهالى من المياه العميقة حيث يمكنهم حصد هذه الحيوانات البحرية. وتحول سكان الجزيرة إلى الطيور البرية كمورد للطعام، وسرعان ما أتوا بها إلى الانقراض. وأدى هذا إلى تزايد اعتمادهم على الفراخ المدجنة ثم فى النهاية إلى أكل لحوم البشر. والتماثيل الصغيرة الباقية التى ترجع إلى سنوات القرن السابع عشر تصور أفراداً بوجنات غائرة وضلوع مرئية بما يطرح أن الكثيرين كانوا حقاً فى حالة جوع.

عندما يبدأ بين الناس أن يأكل الأقارب أحدهم الآخر، سيقل كثيراً احتمال تعاونهم فى حل مشاكلهم المشتركة. وفى سنوات القرن السابع عشر والثامن عشر حُفر بالإزميل الكثير من أسنة الرماح والخناجر الحجرية، بلغ من كثرتها أنها الآن بعد مرور قرون مازال من السهل العثور عليها في التربة. ودلالة هذه المصنوعات تختلف تماماً عن دلالة اكتشاف رءوس السهام التى صنعها الأهالى المحليون الأمريكيون واستخدموها لصيد البيسون(*) وغيره من الحيوانات، ذلك أنه فى جزيرة إيستر كان الحيوان الوحيد الباقى بأى أعداد لها قدرها هو "الهوموسابينس" (الإنسان العاقل). وأصبح البشر صيادين ومصطادين معاً، كأحد أسس الحياة اليومية. وتكشف بقايا الفحم فى التربة عن حرق جماعى لإنشاءات بشرية. وأخذت العائلات تعيش فى الكهوف، وتحلل النظام

(*) الثور الوحشى الأمريكى (المترجم).

السياسي إلى الفوضى. وبحلول سنة ١٧٠٠ تقلص عدد السكان الذى كان يقارب ٢٠٠٠٠ إلى ما يقرب من الألفين .

واستمر النزاع حتى بعد أول اتصال بالأوروبيين في عام ١٧٢٢، وعلى الرغم من أنه في ١٧٧٠ كان هناك مائتان من التماثيل الضخمة مازالت منتصبة، إلا أنه بحلول عام ١٨٦٤ كانت كلها قد هوت على يد القبائل المتنافسة المتحاربة. ولم يستقر سكان الجزيرة في وضعهم الحالى من السكينة إلا بعد أن أخذت السفن تتوقف وتوفر الإمدادات على نحو منتظم إلى حد معقول .

لو أخذنا عدداً قليلاً من الناس، ووضعناهم فى جزيرة بعيدة ولكنها غنية بمواردها، جزيرة لا يجدون أى طريقة عملية للفرار منها، ثم تركناهم يتكاثرون لخمسين جيلاً، سوف ينتهى الأمر بأطفالهم إلى تجاوز قدرة موطنهم على أن يسعهم، فيتحولون أحدهم ضد الآخر ويدمرون كل ما تم إنجازه لأجيال سبقت. وما من أحد يدرك ما يحدث إلى أن يصبح الأمر جد متأخر، أى فى اليوم التاسع والعشرين. والحيوانات والأشجار المنقرضة لا تعود للوجود، وهكذا فإن المدنية التى كانت تعتمد عليهم تزول للأبد. وهكذا كان الحال فى جزيرة إيستر. لو أخذنا عدداً قليلاً من الناس، ووضعناهم فى "كوكب" بعيد ولكنه غنى بموارده، وهم لا يجدون أى طريقة عملية للفرار منه، ولو تركنا هؤلاء الناس يتكاثرون لآلاف قليلة من الأجيال، سوف ينتهى الأمر بأطفالهم إلى أن يتجاوزوا القدرة المحدودة لأن يسعهم موطنهم الكوكبى. هل سيحدث لنا أن نتحول نحن أيضاً أحدنا ضد الآخر فى تزاحمنا المجنون على البقاء فندمر كل ما تم إنجازه لأجيال سبقت؟ إن بعضهم يحاج بأننا قد نكون بالفعل فى اليوم التاسع والعشرين. ولعل كارثة جزيرة إيستر على وشك أن تتكرر فى الحقيقة على نطاق كوكبى، مدفوعة بالتكاثر غير المحكوم لسكان العالم من البشر.

التطور والانتخاب الطبيعى

النموذج الأساسى الذى يقول إن هناك أشكالاً طبيعية جديدة تنشأ باستمرار من الأشكال الأقدم، نموذج موجود فى كل العلوم. وعلى نطاق الكون، فإننا نرى أدلة على

تطور المجرات والنجوم التى فى داخلها. وعلى نطاق الكوكب، فإننا ندرس الجبال والوديان العميقة فنجد الأدلة على التطور الجيولوجي. ونحن نرى أيضًا التطور فى المجتمعات والثقافات، والنظم السياسية؛ فتظهر أشكال جديدة من الأشكال الموجودة من قبل. والتطور مرجعه إلى ملاحظة – أو إذا شئت إلى "حقيقة" – أن الأشياء تتغير باستمرار من شكل للآخر، وأنه يكمن فى الأساس من هذه التغيرات نمط إحصائى.

إن التطور البيولوجى ظاهرة وليس نظرية. وسجل الحفريات يجعل من الواضح تمامًا أن الكثير من أشكال الحياة فى العصور الماضية لم يعد موجودًا، وعلى عكس ذلك، فإن معظم أشكال الحياة الموجودة الآن لم تكن موجودة فى الماضى البعيد. وفوق ذلك، فإن التحاليل الحديثة بالكيمياء الحيوية تجعل فى الإمكان إثبات استمرارية الحياة، فتثبت مثلاً، أن البشر أبناء عمومة بعيدة لأشجار الزيتون والأميبا معًا.

وبصرف النظر عن شكل الحياة، فإن ناقل المعلومات الوراثية من جيل إلى الجيل التالى هو جزىء دنا، الذى تم فك شفرة تركيبه لأول مرة فى عام ١٩٥٣[11]. وهذا الجزىء العملاق يحوى ملايين الذرات من النيتروجين، والفوسفور، والكربون، والهيدروجين، والأوكسجين، ولكن كل هذه الذرات تترابط معًا فى أربعة تشكيلات متعاودة لا غير، يمكن تصورها كدرجات سلم حلزونى طويل يلتف فى اتجاه الساعة بنفس الطريقة التى يلتف بها اللولب المسنون لفتاحة عادية تُلف باليد اليمنى. والكائنات الحية الأقرب صلة نجد أن لديها تتابعًا متماثلاً فى درجات السلم (ما يسمى بأزواج القواعد). وكلما كانت الصلة أبعد بين الكائنات الحية نجد اختلافات أكثر فى تتابع أزواج القواعد فى بناها.

وحامض دنا له القدرة على نسخ ذاته، بمعنى أن لديه القدرة على تكوين نسخة كيماوية دقيقة لنفسه إن كان السائل المحيط به فى الخلية يحوى المكونات المناسبة. وأثناء هذا النسخ تنفصل الأزواج الجزيئية التى تشكل درجات سلم دنا ويمسك كل منها بشريك آخر من الحساء الكيميائى المحيط به: فيمسك كل جزىء من الأدنين بجزىء من الثيمين، بينما يتشبث كل جزىء جوانين بجزىء سيتوزين[*] وتكون النتيجة زوجين من جزيئين لدنا يتطابق فى كل واحد منهما تتابع أزواج القواعد، أى المعلومات

(*) الأدنين والثيمين والجوانين و السيتوزين قواعد عضوية تدخل فى تركيب دنا ، وتتابعها يعمل بمثابة الحروف الأبجدية فى لغة الجينات (المترجم) .

الوراثية نفسها مثل جزيء دنا الأصلي. وهذه الجزيئات الأبناء لدنا تلتف معًا في الاتجاه نفسه : اتجاه عقارب الساعة عندما ننظر لأعلى إلى السلم.

ومن المنظور الكيماوي البحت، لا يوجد أي سبب لأن يلتف دنا في اتجاه عقرب الساعة بدلاً من الاتجاه المضاد له. وجزيء دنا لو كان ملتفًا ضد اتجاه عقرب الساعة سيقوم بكفاءة بكل التفاعلات الكيماوية نفسها مع بيئته وسوف ينسخ نفسه مشكلاً جزيئات جديدة من دنا ملتفة في اتجاه مضاد لعقرب الساعة. على أننا نجد أنه في الآلاف الكثيرة من عينات المادة الوراثية التي تم تحليلها من آلاف الأنواع من الكائنات الحية، أن دنا يكون دائمًا ملتفًا في اتجاه عقرب الساعة، ولا يكون أبدًا في الاتجاه المضاد وهذا هو الحال أيضًا بالنسبة لعينات دنا التي استخلصت من البقايا المحفوظة لأشكال الحياة المنقرضة .

والآن، فإن هذا أمر غريب جدًا ، ذلك أنه ما دام لا يوجد أسباب كيميائية أو فيزيائية لأن يلتف دنا في اتجاه عقرب الساعة وليس ضده، فلماذا إذن لا يوجد في الكائنات الحية إلا هذا الشكل الوحيد من الجزيء؟ وعملية النسخ تفسر السبب في أن جزيء دنا عند الأم وابنها يلتف في نفس الاتجاه، ولكن ما السبب في أن كائنات حية متباينة مثل أشجار الموز والسرطان البحري لا يوجد فيها أيضًا إلا دنا ملتف في اتجاه عقرب الساعة؟ إن احتمال أن يحدث ذلك بمحض الصدفة أقل كثيرًا من احتمال أن يلف كل واحد في العالم في الوقت نفسه قطعة عملة لتستقر كلها في النهاية ووجهها ذي الصورة لأعلى. ولا يوجد سوى تفسير واحد معقول: أنه قد اتفق فحسب أن كان أول جزيء أصلي من دنا عند أمنا الطبيعية قد التف حلزونيًا في اتجاه عقرب الساعة، وكل جزيئات دنا الحالية أبناء لهذا الجزيء. وبكلمات أخرى فإن الحياة كلها لها الأصل نفسه .

وهذا الدليل من الكيمياء الحيوية يتكامل مع الدليل الأقدم من الحفريات الذي يدل على أن أشكال الحياة الجديدة تنشأ متطورة، ويكون ذلك عادة ببطء شديد جدًا عبر أجيال كثيرة وكثيرة. فالتطور ظاهرة حقيقية كالبرق أو الزلازل، وأساسه من المشاهدات متين في كل جزء منه. والتطور فحسب يتفق أنه يقوم بعملية صقل جد

بطيئة حتى أننا عادة لا نلاحظ الأشكال الجديدة للحياة التي تنشأ خلال زمن حياة الإنسان. دعنا نلاحظ أني قلت "عادة" لأنه كما سنرى فيما بعد هناك بعض الكائنات الدقيقة المسببة للمرض تتطور بالفعل إلى أشكال جديدة بمعدل سريع نسبيًا حتى بمقاييس الزمن البشرى .

على أننا عند هذه النقطة نحتاج إلى نكر تمييز حريص: "فظاهرة" التطور لم تعد بعد "نظرية" للتطور، تمامًا مثلما لا تكون ظاهرة البرق نظرية للبرق. إن النظرية هى قفزة معرفية كبيرة تتجاوز مستوى الملاحظات نفسها، والنظرية تبحث فى تفسير الميكانزمات التى تقود الظاهرة. والنظرية العلمية السائدة عن التطور، نظرية "الانتخاب الطبيعي"، ترجع جذورها إلى كتابات عالمى التاريخ الطبيعى تشارلز داروين (١٨٥٩) وألفريد والاس (١٨٧٦). وفى أيام داروين ووالاس كان من الصعب صياغة نظرية عن التطور بلغة تقبل التفنيد إمبريقيًا، وكان التقدم فى ذلك بطيئًا. وحاجّت مدارس كثيرة بأن فكرة الانتخاب الطبيعى غير مؤهلة على الإطلاق لأن تكون نظرية، حيث إنها لا تتنبأ بشيء يمكن اختباره موضوعيًا. وكان هناك بعض صدق فى وجهة النظر هذه، وحتى زمن جد قريب كان السبب الرئيسى لشعبية نظرية الانتخاب الطبيعى هو عدم وجود أى نظرية بديلة قابلة لأن تعيش. على أن هناك الآن أوجه تقدم فى الوراثيات والكيمياء الحيوية جعلت من الممكن ابتكار اختبارات تجريبية لبعض النتائج التى تترتب على الانتخاب الطبيعي، وأصبحت النظرية ذات أساس أرسخ كثيرًا.

ونظرية الانتخاب الطبيعى لا تتعامل مع مصير أفراد بعينهم، فهى تتعامل فقط مع احتمالات بقاء العشائر الكبيرة من الكائنات الحية. والميكانزم النظرى ملخص فى جدول (٤، ٢) وأول شرط هنا هو أنه يجب أن يكون هناك بعض درجة من التنوع الوراثى داخل أى مجموعة؛ بمعنى أنه لا يمكن لكل أبناء العمومة أن تكون لديهم صفات وراثية متطابقة. ونحن نعرف الآن أن هذا التنوع يحدث دائمًا إلى حد ما، حتى فى أدنى أشكال الحياة، من خلال أخطاء طارئة (طفرات) تدخل على جزيء دنا أثناء استنساخه. وبالتالى، يحدث بمجرد الصدفة أن يصبح بعض الأفراد متكيفين مع بيئتهم تكيفًا أفضل من سائر مجموعتهم (فيكون لديهم مثلاً بصر أحد هونًا، أو إحساس بالتوازن أفضل هونًا). ويحدث فى الوقت نفسه بالصدفة، أن أفرادًا آخرين

قد ولدوا فى الوقت نفسه يكونون فى وضع غير مواتٍ هونًا (كأن يكون لهم مثلاً مخالب أضعف، أو يكونوا غير قادرين على الوثب بعيداً مثل الآخرين).

جدول (٤، ٢) العملية النظرية للانتخاب الطبيعى."يمكن أن نتوقع لأى نوع أن يكتسب صفات بيولوجية جديدة عبر سلسلة الأجيال كنتيجة للتتابع التالى الذى يحدث طبيعياً":

١ - تنوع وراثى بين أعضاء النوع.

٢ - بيئة تقتل بعض الأفراد قبل أن يتكاثروا، بينما تكون مواتية لبقاء أفراد أخرين حتى البلوغ ممن تكون صفاتهم الوراثية أفضل تكيفًا للضغوط البيئية.

٣ - تكاثر الناجين أحياء بمعدل يفوق معدل الإحلال الوالدى.

٤ - نقل المعلومات الوراثية من الوالدين للذرية أثناء التكاثر.

٥ - فى النهاية يتم انحدار الوالدين فيزيولوجياً وموتهم، الأمر الذى يبعدهم عن دائرة المنافسة ويغربل الصفات المؤقتة التى اكتسبوها بعيداً عن صفات النوع الطويلة المدى التى تحددت وراثيًا .

والشرط الثانى هو أن جزءًا فحسب من أى مجموعة هو الذى يبقى حيًا حتى البلوغ، ومرة أخرى فإنه يبدو أن هذا يحدث عادة. ولما كانت الحوادث العشوائية تقتل حتميًا بعض الأفراد، فإن البقاء "للأصلح" أمر غير مضمون مطلقًا. على أن ما يرجح إحصائيًا، هو أن نسبة أكبر من الأفراد الأفضل تكيفًا ستنجح فى تجنب المفترسين، وتتحمل فصل الشتاء القاسى، وتقاوم العدوى متخلصة منها، وهلم جراً. وهذا يطرح تحيزًا إحصائيًا نجد فيه أن الحيوانات التى تعيش لأطول هى التى يرجح أكثر أن يكون لديها تلك الصفات المواتية لبقاء الكائن الحى عائشاً .

يلى ذلك ، أن الكائن الحى يجب أن يتكاثر بطريقة تنقل إلى ذريته معظم ما ورثه من الصفات الوراثية الخاصة به. وبالإضافة، إذا كان لشكل الحياة أن يتطور، فإنه يجب أن يتكاثر بمعدل يفوق معدل إحلاله هو نفسه (بمعنى أن كل والد يجب أن ينجب فى المتوسط أكثر من فرد واحد من الذرية). وإذا لم يكن هناك تكاثر بالزيادة،

سينـتج عن عملية الانتخاب الطبيعى تضاؤل مستمر فى العشيرة ثم انقراض النوع فى النهاية.

وأخيراً، فإن الانتخاب الطبيعي يستلزم انحدار وموت الفرد. وإذا كان للنوع أن يتطور، فإن أفراده من الكائنات الحية "يجب" أن يكون مدى حيــاتهم محــدوداً. وإذا لم يحدث لمن هـم أكبر سنًا أن ينحدروا بدنيًا ويموتوا، فإنهم سيواصلون المنافسة على البقاء في عشيرة من ذرية مزدهرة للأبد. وأى شكل للحياة له القدرة على التعلم حتى ولو كان هذا تعلمًا بدائيًا، وسنجد أن أفضل أفراده تكيفًا هم إحصائيًا الأكبر سنًا (لأنه كان لديهم وقت أكثر للتعلم)، حتى يصلوا إلى السن الذى تبدأ فيه هذه الميزة فى الضـعف بسبب الانحدار الفيزيولوجي. وبدون أن يشيخ الأفراد فـإن عملية الصـقل بالتطور سـتتوقف، لأن الصـفات الوراثية الجـديدة لن يكون لديها إلا فرصـة قليلة لأن تحل مكان صفات التعلم لدى الأجيال الأقدم التى ما زالت تعيش. وعندما تتغير البيئة (وهى تفـعل ذلك دائمًـا فى النـهاية) فـإن النوع الذى يشـيخ ببطء ويتكاثر ببطء تكون قدرته على التكيف صغيرة، وسوف يختفى بالانقراض. ما الذى يحل مكانه؟ يحل مكانه نوع قد اتبع فرعًا تطوريًا مـختلفًا ليصل إلى شكل يكون الأفراد فيه مبرمـجين وراثيًا بحـيث يمـوتون سـريعًا بعـد أن يتكاثروا ويربوا صـغـارهـم حتى البلوغ. وفى نظرية الانتخاب الطبيعي، تكون الشيخوخة والموت هما ما يدفعان عملية التطور[١٢].

هل "يحـتـاج" النوع للتطور حـتى يبـقى حيًا؟ مطلقًا. فمنذ عصـور مضت، كـان كوكبنا مكانًا يختلف تمامًا عما هو عليه الآن. لم تكن البـحار مالحة بنفس الدرجة، والجو القديـم كان الأوكسيجين فيه أقل كثيراً، وكان متوسط درجة الحرارة (قبل أن تبدأ دورة العصور الجليدية الأحدث) أعلى مما هى الآن. والنوع الذى يزدهر فى إحدى البيئات يكون دائمًا معرضًا للخطر عندما تتغير بيئته. وأشكال الحياة التى لا تتـغير، أو التى تتغير بمعدل أبطأ من تغيرات بيئتها يكون من الأرجح إحصائيًا أنها ستموت قبل أن تنال فرصتها لتمرير جيناتها إلى الجيل التالى .

تتنبأ نظرية الانتـخـاب الطبـيـعى بأن أسـرع الأنواع فى التطور هى تلك التى يحدث لأفرادها :

١- أن يصلوا سريعًا إلى البلوغ للتكاثر .

٢ - أن يكونوا تحت ضغط بيئي،

٣ - أن يكونوا وافري الإنتاج في تكاثر ذرياتهم. والصنوبريات ذات الأقماع الشوكية يبلغ مدى عمرها آلافًا عديدة من السنين، وبهذا فإنها يمكنها أن تتحمل تكلفة بطء نموها وتكاثرها، لأن ليس هناك سوى ضغوط بيئية قليلة جداً يمكن أن تؤثر فيها؛ ومن الناحية الأخرى، فإن الضفادع تحتاج لأن تضع سريعًا الملايين من البيض للتأكد من أن قلة منها سوف تنجو من حشد المفترسين الجائعين في بيئتها. ومملكتا النبات والحيوان مليئتان بآلاف من الأمثلة الرائعة لأشكال الحياة التي نجحت في تطوير صفات فريدة تدعم احتمال بقائها حية (مثلاً الحشرات التي تبدو مثل الأغصان، والزراف الذي يستطيع الوصول إلى الأوراق عند قمة الشجرة، والظربان الذي ينفر المفترسين برائحته، والزواحف الشمالية التي لها قدرة على البيات الشتوي طول كل الشتاء الطويل). وفي الوقت نفسه هناك كائنات حية أخرى قد طورت أساليب فريدة للتأكد من بقاء بذورها حية حتى إذا هلك الكائن الحي الفرد: وكمثل ، فإن جوزة الهند ستطفو فوق موجة مد الإعصار، وتمر بذور الكثير من الفواكه سليمة بلا ضر من خلال الجهاز المعوي للحيوان الذي يأكلها .

وبالطبع، فإن الانتخاب الطبيعي لا يضمن للكائن الحي أن يطور هذه الصفات التكيفية. ومن الواضح أنه سيكون من المفيد للإنسان الحديث أن يتمكن من "رؤية" الإشعاع المؤين وبالتالي يتجنبه. ويمكن حاليًا أن نحاجَّ بأنه لا يوجد ضغط بيئي كاف لأن يدفع الانتخاب الطبيعي البشري في هذا الاتجاه (والحقيقة أني سأجد نفسي مضطراً لافتراض الميكانزم البيولوجي الذي قد ينتج هكذا). على أنه فيما عدا ذلك، نجد أنه مع الوقت الذي يستغرقه البشر للوصول إلى البلوغ ، ومع سرعتنا البطيئة في التكاثر (تقريبًا خمس وعشرون سنة لكل جيل)، فإن أمنا الطبيعة ستستغرق عشرات الآلاف من السنين لأداء هذه التجربة بالذات على النوع البشري. ولو حدث غداً أن وقعت محرقة ذرية مبيدة، أو لو اختفت حتى طبقة الأوزون في العقود القليلة التالية، فإن من أقل المحتمل أن "الهوموسابينس" سيتمكن من تطوير ميكانزمات تكيفية

بالسرعة الكافية لتأكيد بقاء النوع حيًا. وفي هذا السيناريو، ربما ينبثق الصرصار كالشكل السائد لحياة الحيوان على الأرض، وذلك لأن الصراصير لديها بالفعل بعض مقاومة للإشعاع (وهذه بداية أساسية للتطور)، كما أنها أيضًا تتكاثر بمعدل سريع نوعًا.

الانتخاب الاصطناعي

أحد أقوى البراهين التي تدعم نظرية الانتخاب الطبيعي يكمن في نجاحات الإنسان في توجيه التغير التطوري لفائدة الإنسان. فالذُرة مثلاً طُورت من نباتات برية كان موطنها أصلاً في الأمريكتين عندما وصل إليهما الأوروبيون لأول مرة في القرن السادس عشر. والذرة الحديثة تختلف تماماً عن الذرة البرية الأصلية، فحبوبها أكبر وأحلى طعماً، ولم يعد بعد في قدرة النبات أن ينمو برياً، لأن حبوبه لا تنتشر إلا بتدخل من البشر. وهذا التطور من الذرة البرية إلى الذرة الحديثة تم بسرعة قصوى، ولم يتطلب الأمر إلا ما يقرب من مائة دورة تكاثرية. ومن وجهة نظر مركزية الإنسان(*)، فإن هذه العملية التطورية انتخاب اصطناعي وليس طبيعياً، ذلك أن القادمين الجدد من المزارعين الأوروبيين انتخبوا بوعي أكبر النباتات فحسب من كل جيل من الذرة ليستخدموها كبذور للسنة القادمة. على أنه من منظور أوسع يمكننا أن ننظر إلى وصول الأوروبيين كتغير عنيف في بيئة الذرة المحلية، وأن التطور من الذرة البرية إلى الذرة الحديثة نتيجة لهذا الضغط البيئي. فلو لم يكن حَبُّ الذرة الحديثة سميناً في هذه البيئة الجديدة لما نال الفرصة لأن يتكاثر، وإنما كان سيؤكل لا غير، وهذا كل ما في الأمر. ومن الناحية الأخرى عندما تنمي الأعواد حبوباً جد غليظة، فإن الأوروبيين يوفرون بذورها ليزرعوها في السنة التالية، وتُمرر جينات هذه الأعواد إلى الأجيال التالية.

وقد استخدم البشر أسلوباً ممثالاً ليوجهوا بنجاح عملية الانتخاب بالنسبة لمدى واسع من شتى الحيوانات المدجنة ومحاصيل الطعام. وهكذا فإن الأبقار والخنازير

(*) الرأى بأن الإنسان هو مركز أو محور الكون (المترجم).

الحديثة هى ومعظم سلالات الكلاب لم تعد بعد تستطيع البقاء حية فى البرية. والخيول الأصلية لها صفات تختلف اختلافًا جوهريًا عن صفات الخيول البرية، والأرز النامى فى المزارع أكثر تغذية عن الأرز البرى، وأشجار المشمش لا تنمو بريًا، كذلك فإن المدى الواسع من أصناف التفاح التى نشتريها من متاجر السوبر ماركت تعكس تدخل البشر لتوجيه عملية الانتخاب .

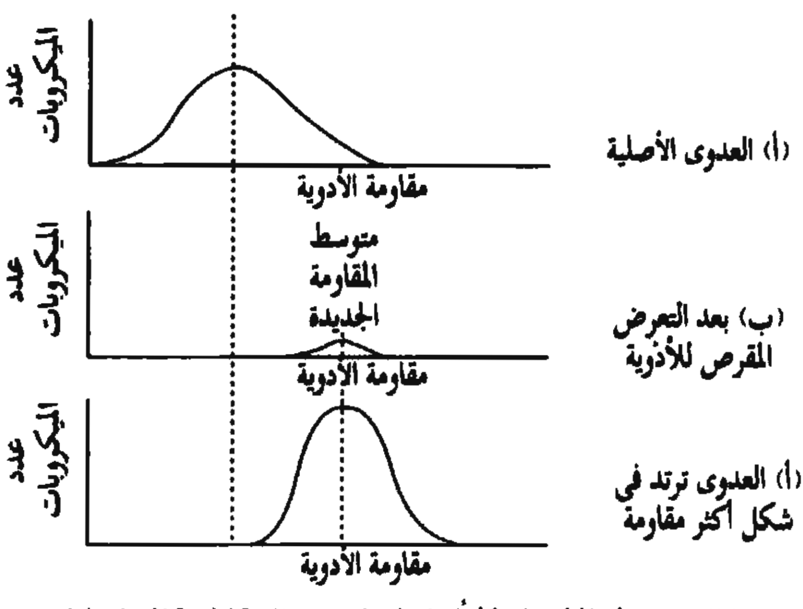
يسرد كارل ساجان مثلاً خلابًا حيث نتج الانتخاب عن خرافات يؤمن بها البشر وأساطير ثقافية بدلاً من أن ينتج عن برنامج واعٍ لضمان الطعام فى المستقبل[١٢]. ففى عام ١١٨٥، فى بحر اليابان الداخلى خسرت عشيرة "هايك" من الساموراى معركة بحرية كسبتها منهم عشيرة الساموراى "جنجى" المنافسة لهم. وبدلاً من مواجهة الأسر، فإن أعدادًا كبيرة من محاربى الهايك ألقوا بأنفسهم فى البحر. وإلى هنا فإن هذا تاريخ موثق. ثم نشأت أسطورة على هذا الأساس التاريخى: فقال الصيادون المحليون إن ساموراى الهايك المنهزمين مازالوا يجولون الآن فوق قاع البحر، فى شكل سرطان البحر. والحقيقة، أننا إذا سافرنا إلى بحر اليابان الداخلى والتقطنا سرطانات قليلة العدد، فسيكون من المرجح جدًا أن نجد أن بعضًا منها يحمل فوق درعه الذى يغطى ظهره صورة ثلاثية الأبعاد لوجه محارب ساموراى كامل بالشارب وشريط الذقن .

لقد نمت محارات هذه السرطانات نموًا طبيعيًا تمامًا، فلم تنحتها أو تصورها أيدٍ بشرية. والصورة البشرية التى على ظهرها هى إذن من التركيب الوراثى لكل سرطان مما ينعكس فى تتالى أزواج القواعد فى دناه. ولكن أى صلة يحتمل أن توجد بين الكيمياء الحيوية الداخلية لأحد السرطانات واشتباك الساموراى البحرى سنة ١١٨٥؟ من الواضح أن الصلة الوحيدة المحتملة هى الصيادون. فقد استخرجوا عبر القرون ملايين كثيرة من السرطانات من بحر اليابان الداخلى لتؤكل. ولكنهم بعد سنة ١١٨٥، عندما كانوا يصطادون فى شباكهم أى سرطان يشبه ، ولو أدنى شبه محارب الساموراى، فإنهم كانوا يلقونه ثانية إلى البحر. وعبر القرون الكثيرة أدى هذا الانتخاب بواسطة الصيادين إلى ميزة تراكم فى البقاء لتلك السلالات الوراثية من السرطان التى لديها ملامح ساموراى فوق درعها .

وإذا نظرنا لهذه العملية من منظور سرطان الهايك، فإن الصيادين هم جزء من بيئة السرطان، وعملية الانتخاب هكذا تكاد ألا تكون اصطناعية. وإنما هذه حالة من مفترسين طبيعيين (البشر) يغيرون سلوكهم بطريقة وفرت فتحة مهرب صغيرة لبقاء الفريسة، والفريسة قد كاثرت (عبر أجيال كثيرة) من أعضاء عشيرتها الفرعية الذين لديهم صفات تتيح لهم الانزلاق من خلال هذه الفتحة الصغيرة. ومعدل ظهور سرطان الهايك كان سريعاً نوعًا، كعملية من الانتخاب الطبيعي، ولكنه لا يختلف أساسًا عن العملية التى نمّت بها أسماك الحريث الكهربائية قدرتها على إحداث صدمة لمفترسها أو العملية التى نمى بها البشر قدرتهم الذكائية على التخطيط للمستقبل. والتدخل البشرى قد يغير من سرعة أو اتجاه تطور أحد الأنواع ولكنه لا يغير حقيقة التطور.

من الواضح أن الأنواع التى يكون تكاثرها أسرع وبأعداد أكبر هى إحصائيًا التى يرجح لأقصى حد أن تطور صفات جديدة عندما تتعرض لضغوط بيئية. وهناك حالة لها علاقة بالذات بالبشر وهى حالة الميكروبات المسببة للمرض .

والرسم البيانى (أ) فى شكل (٤ ، ٢) يوضح كيف أن الأفراد فى عشيرة من



شكل (٤ ٢) السبب فى أن الميكروبات كثيراً ما تطور لنفسها مقاومة للأدوية المضادة لها .

الميكروبات سيختلفون وراثيًا من حيث قدرتهم على تحمل دواء ضد الميكروبات (كأحد المضادات الحيوية مثلاً). لنفرض أن هذه العشيرة من الميكروبات رسخَت من وجودها فى عائل بشرى، وأن هذا الفرد المريض أخذ يتناول مضادات حيوية. من الواضح أن أول جرعة دواء ستقتل أقل الميكروبات تحملاً فى العشيرة، والجرعة الثانية ستقتل الميكروبات التالية فى الضعف، وهلم جراً. وفى النهاية، بعد مرور أيام عديدة من العلاج، لن يبق حيًا سوى عدد صغير من الميكروبات (الرسم البيانى ب)، ويبدأ ضحية المرض فى الإحساس ثانية بأنه أحسن حالاً إلى حد كبير. وعند هذه النقطة، يحدث كخطأ شائع أن يتوقف المريض عن تناول الدواء (وربما يعطى ما تبقى من الكابسولات لصديق مريض أو أنه يخزنها لمرض فى المستقبل). على أن الجراثيم القليلة التى تبقى حية هى تلك التى لديها أكبر مقاومة للدواء. والأسوأ من ذلك أنه حيث أن العلاج قد قتل معظم المنافسين لها، فإن هذه الميكروبات القليلة القوية يصبح فى متناولها بيئة تساعد على نمو العشيرة نمواً سريعًا. وترتد العدوى الآن كما يبين الرسم البيانى (ج). ولنلاحظ أن كل الميكروبات فى هذه العشيرة الجديدة قد انحدرت من ميكروبات العشيرة الأصلية الأكثر مقاومة للدواء. وبالتالى، فإن النكسة تتميز بحالة من العدوى تقاوم المضاد الحيوى الأصلى مقاومة لها قدرها. وكنتيجة لذلك يصبح الفرد العائل أشد مرضاً عما كان عليه أصلاً، ويتطلب علاج المرض سلسلة أطول من أدوية أقوى .

مرة أخرى ، فإن التمييز بين الانتخاب الطبيعى والاصطناعى هو أمر مصطنع تمامًا. فالإنسان ككائن حى يعد بيئة طبيعية تمامًا لتكاثر الميكروبات، والمضادات الحيوية فى مجرى الدم ضغط بيئى يدفع إلى تطوير صفات جديدة فى أى عشيرة ميكروبية تقيم هناك. ولفهم الأوبئة، سنحتاج لأن نبقى فى ذهننا أن الميكروبات تتطور باستمرار، مدفوعة فى ذلك بنفس نوع القوى التى تدفع الانتخاب الطبيعى فى كل الكائنات الحية البيولوجية الأخرى .

الأوبئة

تؤوى أجسام البشر، حتى ولو كانت أحسنها صحة ، مئات من أشكال الحياة الميكروسكوبية النامية: شتى أنواع البكتريا والفيروسات ، بل وكثيراً ما يكون معها

حتى أميبا (فى الفم). وهذه الكائنات الدقيقة فى معظم الأحوال لا تجعلنا مرضى، والحقيقة أن نظرية الانتخاب الطبيعى تطرح أن الميكروب عندما يتسبب فى مرض أو قتل الكائن الحى العائل له هو نفسه فإن هذا يعد ضرراً خطيراً بالنسبة لبقاء الميكروب حيًا. والميكروبات التى تتكيف أحسن التكيف لبيئة الجسم البشرى ستكون إلى حد كبير حميدة، لأن هذا يضمن لها بقاءها حية على المدى الطويل.

إلا أنه يمكن أن تنشأ أوجه شذوذ وحشية على المدى القصير. فالكائنات الدقيقة يمكنها إنتاج جيل جديد خلال ساعات لا غير، وذلك بالمقارنة بمتوسط من خمس وعشرين سنة أو ما يقرب بالنسبة للإنسان. وكنتيجة لذلك، فإنه خلال زمن حياتنا البشرية يكون لدى طفيلياتنا الميكروبية عدد لا يصدق من الفرص لتطوير صفات جديدة من خلال الطفر والانتخاب الطبيعى. ولما كانت الطفرات عشوائية، فإن أغلبها إلى حد كبير تنتج عنه صفات ليس فيها بأى حال ما يفيد فى بقاء الميكروب حيًا. على أنه يحدث أحيانًا بالصدفة لا غير أن يكتسب أحد الكائنات الدقيقة صفة تجعله متكيفًا على نحو فريد لأن ينمو فى أحد أجزاء الجسم فى مواجهة منافسة قليلة. وعندما يحدث ذلك، يكون قد وُلد مرض جديد.

وحسب فهمنا الحالى فإنه من غير المرجح بالمرة أن يطفر فجأة ميكروب بشرى حميد ليصبح سببًا لمرض بشرى. وبدلاً من ذلك يبدو أن ما يحدث هو: أن كل الحيوانات تحمل ما يخصها من حشود من الميكروبات الحميدة نسبياً المتكيفة تكيفًا فريداً. وإذا طفر أحد هذه الميكروبات، فإنه يصبح أقل تكيفًا مع بيئة عائله الخاص، ولكنه قد يكون أكثر تكيفًا لعائل مختلف (كالإنسان مثلاً). ولما كنا نحن البشر نعيش كثيراً ونحن قريبون أوثق القرب من الحيوانات الأخرى فإننا على نحو غير مقصود نعطى فرصة للميكروبات الطافرة لأن تغير عائلها. وتطرح الأدلة التاريخية أن العديد من الأمراض البشرية تبدأ أصلاً بهذه الطريقة نفسها. وكمثل ، يبدو أن الجدرى والإنفلونزات والنكاف والزهرى ومرض النوم الإفريقى والإيدز، كلها كانت أصلاً من حيوانات أخرى تتصل بالبشر اتصالاً منتظماً .

وعندما يحط ميكروب جديد فى جسم إنسان سليم فإنه إما أن يتم التهامه سريعًا بدفاعات الجسم الطبيعية، أو أنه يتغلب على هذه الدفاعات بطريقة تجعله يتمكن من

مواصلة معدل نمو أكبر من صفر ٪ . وكما رأينا، فإن أى معدل نمو إيجابى على مدى طويل سيؤدى فى النهاية إلى تكرر مضاعفة عدد عشيرة الميكروبات. وفي هذه الحالة فإن أعداد الميكروبات قد تزيد بما يتجاوز قدرة العائل على حملها، ويموت العائل من المرض .

ولكن حتى هذه الأنواع التى غيرت عائلها لا تكفى لأن تفجر وباء فى عشيرة من البشر. والعامل الضرورى الآخر هو أن الميكروب يجب أن يجد طريقة لأن ينقل نفسه إلى عائل جديد قبل أن :

١ - يقتل عائله الأصلى، أو قبل أن .

٢- ينجح عائله الأصلى فى القضاء عليه. وإذا لم يكن لدى الميكروب طريقة لينتقل من ضحية لأخرى فى التوقيت المناسب، فإن مرضًا جديدًا سيزول سريعًا من قائمة أمنا الطبيعة .

ولو أنك كنت ميكروبًا، فإن أكفأ طريقة للانتقال من إنسان لإنسان هى أن تنتقل متطفلاً بالركوب على شىء مما يعمله البشر بالفعل. وكمثل، فإننا نحن البشر نتنفس، ونحن أيضًا نشرب الماء، ونأكل ونمارس الجنس، وندوس ما حولنا بأرجل حافية فى غرف الملابس بالملاعب الرياضية، ونعرض أنفسنا للدغات الذباب والبعوض. وهذه الأفعال البشرية فيها كلها مجال ملائم لانتقال الميكروبات المعدية من شخص للآخر. ويمرور الوقت، كثيراً ما يطور الميكروب القدرة على التأثير فى عائله بطريقة تزيد من فرصته فى أن ينتقل إلى عائل آخر: بأن يؤدى مثلاً بالفرد المصاب بالعدوى لأن يعطس أو يسعل، حتى يزيد من عدد بوغات الميكروبات المحمولة بالهواء التى تسبح فيما حولها لتلتقطها الضحية التالية، أو بأن يجعل أحد الرياضيين يهرش أصابع قدمه التى تحكه، ليخلف بوغات الفطر على أرضية غرفة الملابس. أما فى حالة الكوليرا، فإن الميكروب يزيد من معدل طرد فضلات الأمعاء إلى حد شديد (يبلغ ٢٠ لترًا، أو خمسة جالونات، فى اليوم) بحيث يصبح من المرجح تمامًا أنه سيلوث طعام أو مياه العائلين المرتقبين الآخرين. والكوليرا إذا لم تعالج فإنها تكاد أن تكـــون دائمًا مميــتة فى خـــلال يوم أو يومين؛ على أن هذا لا يضر بالميكروب لأنه عادة ينجح فى أن يعدى عوائل جدد بمعدل

سريع جداً. وتفشى أوبئة الكوليرا يكون دائمًا من الأخطار التى تتبع أى كارثة طبيعية تسبب انقطاع وصول المياه الصالحة للشرب و/أو توقف المعالجة الصحية للمجارى.

ومن الواضح أن المرض يصير إلى الاندثار إذا لم ينتشر إلى ضحايا جدد. وإذا كان المرض بطيئًا فى مساره، فإنه يستطيع تحمل تكلفة الانتشار البطىء ويظل باقيًا، أما إذا كان المرض يقتل سريعًا فلابد أيضًا من أن ينتشر سريعًا. وكنتيجة لذلك، فإن الكثير من أشد الأمراض قتلاً تكون أيضًا من أكثرها انتقالاً بالعدوى[١٤].

على أن هناك عاملين آخرين مهمين فى هذا الأمر الديناميكى وهما: كثافة السكان وتنقلهم. وإذا كانت عشيرة السكان مبعثرة ولا تنتقل كثيراً جداً فيما حولها، فإن الميكروبات المسببة للمرض تكون فرصتها صغيرة للانتقال من المريض إلى السليم. وكنتيجة لذلك يبدو أن كل مرض ينتقل من إنسان للآخر يستلزم وجود حد معين من الكثافة السكانية ليظل مستمراً. وسكان المدن يصابون بعدوى الإنفلونزا بمعدل أكبر كثيراً من أهل الريف، بينما نجد فى المجتمعات الزراعية المنعزلة أن هناك ندرة حتى فى أكثر أمراض الأطفال شيوعًا. وكمثل فإن استمرار الحصبة كمرض، يبدو أنه يتطلب عشيرة من الأفراد المتفاعلين يقرب عددها من المليون. والحقيقة أنه فى أوائل سنوات القرن التاسع عشر، كان معظم الفلاحين الفرنسيين الذين جُندوا فى جيش نابليون لم يتعرضوا أبداً للإصابة بالحصبة، ومات عشرات الألوف من المجندين الشبان من هذا المرض قبل أن يروا قط أى رصاصة للعدو. وحدث الشىء نفسه فى الحرب الأهلية فى الولايات المتحدة، عندما جمع الكونفدراليون أولاً جيشهم من شبان أتوا من مدن وقرى الجنوب الصغيرة المنعزلة: ومرة أخرى سرعان ما مات الآلاف من الحصبة.

أصبحت الحصبة فى القرن العشرين مرضًا للأطفال فى الأساس (هذا فحسب بعد أربعة أجيال بشرية، ولكن بعد ملايين من أجيال ميكروبات الحصبة). لقد تطور الميكروب إلى أشكال أقل عنفًا بما أتاح له أن يصبح متوطنًا بين أفراد السكان. وإذا لم يلقح الطفل الآن، فإنه فيما يحتمل سيتعرض للإصابة بهذا المرض فى سن صغير نوعًا، وسيصاب بحالة خفيفة ويشفى ثم يظل جهازه المناعى "يتذكر" للأبد هذا الحدث

ويحميه من أن يعود ثانية إليه. على أن الطفل المريض خلال هذه الممارسة سينقل المرض لعدد من الآخرين يكفي لبقاء المرض حيًا في بعض جزء آخر من السكان عمومًا. وبعد ذلك بخمس وعشرين سنة فإن أطفال ذلك المريض سيلتقطون سلالة بعيدة من الفيروس الذي سبب مرضه في طفولته، وتستمر العملية. وبكلمات أخرى، فإن شفاء الطفل نفسه قد ضمن للمرض وجود عائل جديد في تاريخ لاحق.

هذا إذن هو التكيف النهائي لأحد الميكروبات المسببة للمرض. فما أن يوطد مرض نفسه كمرض متوطن بين السكان حتى يصبح من غير المحتمل أبدًا أن يتعطل عن العمل. فإستراتيجية الميكروب للبقاء هي كما يلي: دعنا لا نقتل أفرادًا أكثر مما ينبغي؛ فلنجعلهم فحسب مرضى بالمقدار والزمن الكافيين لأن ينقلوا المرض لعدد كاف من الآخرين بحيث تظل الميكروبات موجودة على المدى الطويل. ويقع العديد من أمراض المناطق الحارة في هذه الفئة: كالملاريا مثلاً والإصابة بالشيزتوزوما (البلهارسيا).

على أنه كما بينت من قبل، فإن هناك أمراضًا جديدة تنبثق دائمًا، وهي عندما تظهر أولاً تكاد تكون دائمًا أوبئة وليست أمراضًا متوطنة. ومعظم هؤلاء القادمين الجدد يكونون من القوة بحيث إنهم يسيرون بسرعة في مسارهم ليقتلوا كل من يُعدى بهم. ومن الأمثلة الحديثة لذلك مرض ليجيونير(*) ومرض "ولايات الركن الأربع"(**) حيث أدى ميكروب جديد إلى أن يقتل سريعًا ضحاياه وبالتالي فإنه (لحسن الحظ) قد فشل في أن ينقل نفسه إلى عامة السكان.

إلا أن الإيدز له قصة أخرى. فهو يقتل بطيئًا، وهو مرض معدٍ لفترة طويلة تسبق ظهور الأعراض، كما أنه فيما يبدو مرض مميت على نحو ثابت. وقد يكون من

(*) مرض ليجيونير: مرض يسبب ما يشبه الالتهاب الرئوي، وهو مرض شديد يقتل أحيانًا. والمرض تسببه جرثومة بكتيريا تفشت في مؤتمر "للفرقة" الأمريكية (ليجيون)" في فيلادلفيا سنة ١٩٧٦، ومن هنا كان اسم المرض (المترجم).

(**) مرض ولايات الركن الأربع: يُقصد به مرض ظهر أولاً في ولايات يوتاه وأريزونا وكلورادو، ونيو مكسيكو، وهي ولايات الركن الأسفل الرئيسي للولايات المتحدة. وقد ظهرت حالات هذا المرض لأول مرة عام ١٩٩٢، وسببها فيروس هانتا الذي يسبب حمى حادة مميتة تؤدي إلى فشل سريع في الجهاز التنفسي. (المترجم).

المستحيل أن يظل هذا المرض باقيًا على المدى الطويل، وذلك لأنه يستهدف من بين ضحاياه نفس الأفراد الذين يجب أن يعتمد عليهم ليمدوه بعوائل جدد لأجيال الميكروب المستقبلة (وهؤلاء الأفراد هم النشطون من أصحاب النزعة للجنس المغاير هم وأجنتهم). على أنه لن يكون مما يعزينا قط فكرة أن وباء الإيدز ربما يجرى في المجرى المألوف للأوبئة، وهو يحدث أثرًا جانبيًا يهلك فيه الكثيرون من أفراد النوع البشري في كوكبنا.

وبالطبع، سوف يحاج الكثيرون بأن الأزواج الذين يمارسون معًا زواجًا أحاديًا والذين يتجنبون أيضًا الحقن غير المعقمة يمكنهم أن يبقوا بدون عدوى وسط هذه المحرقة المبيدة ويصبحون (حواءات وأدمين) لعالم جديد أفضل. ربما نعم، ولكن أيضًا ربما لا. إن الفيروس الارتجاعي(*) للإيدز يطفر بمعدل ينذر بالخطر (وهذا هو السبب في أن جهود إنشاء لقاح مازالت حتى الآن غير ناجحة). ونحن في الوقت نفسه، قد أعطينا هذا الميكروب بيئة خصبة بما يذهل، يجرى فيها تجاربه، حيث بلايين الأفراد على نطاق العالم يتفاعلون بطرائق شتى غير جنسية (كأن يحدث مثلاً أن يتنفس كل واحد منهم هواء الآخر). وإذا ثبت يومًا أن الفيروس الارتجاعي للإيدز سيطور سلالة تنتقل محمولة بالهواء، أو سلالة يمكن انتقالها من خلال اتصال جماعي غير جنسي، سنكون عندها قد تأخرنا جدًا في اتخاذ الخطوات اللازمة لتوقي انتقاله في تلك الشريحة من السكان التي تعد نفسها حاليًا محصنة بفضل سلوكها الجنسي من التزاوج الأحادي.

عندما تكون البيئة راكدة، فإن التطور يجرى بسرعة القوقع، إن كان سيحدث مطلقًا. ولكن عندما تتغير البيئة تغيرًا سريعًا، فإن الانتخاب الطبيعي يدفع دائمًا بعض أشكال الحياة لتتكيف مع الظروف الإيكولوجية التي انبثت مجددًا. ونحن كبشر عندما نتزايد في العدد وفي الكثافة السكانية، نوفر أيضًا لطفيلياتنا الميكروبية بيئة لم تكن أبدًا متاحة لها من قبل. وبالتالي فإننا نقدم للكائنات الدقيقة في الأرض مدى متزايدًا من شتى الفرص لتطوير أمراض بشرية جديدة. وقوانين الاحتمالات تطرح أنه في هذه

(*) فيروس ارتجاعي : فيروس من الحامض النووي ريبو نيو كليك (رنا) ينسخ نفسه عندما يعدى الخلايا بأن يصنع جزءا مكملا من الحامض النووي دى أوكس ريبو نيو كليك (دنا) (المترجم).

الظروف سوف تظهر حقًا أمراض جديدة فى المستقبل، وبسرعة متزايدة[١٥]. والكثير، إن لم يكن الأغلب، من هذه الأمراض الجديدة سوف تبدأ كلؤيثة. وبعضها على الأقل سيكون قاتلاً جداً.

هل من الجائز أن وباءً قاتلاً فى المستقبل سيصبح جائحة[*] ويمسح النوع البشرى من وجه الأرض؟ نعم، يجوز. هل يكون سيناريو كهذا أمراً محتملاً؟ ربما تكون الإجابة لا على المدى القصير. على أنه لو أتيح ما يكفي من الزمن ومن الفرص البيئية، تصبح الأحداث الطبيعية القليلة الاحتمال نسبياً أمراً يتزايد احتماله. ونحن نعرف بالفعل أنه عبر الدهور قد صارت آلاف كثيرة من أشكال الحياة إلى الانقراض بفعل عوامل مسببية، كل ما نملكه بالنسبة لها هو أن نخمنها لا غير. ولا ريب أن المذنب فى بعض هذه الأمثلة على الأقل هو انفجار النمو السكانى وانتقال الطفيليات الميكروبية. نعم، نحن فى خطر بالغ، وعلمنا مازال أصغر سناً من أن يوفر لنا إستراتيجية عامة لاستئصال هذا الخطر.

أوبئة الطاعون الدبلى[**]

قبل النهضة الحديثة لصحة البيئة والطب، كانت المدن تعد صحياً أسوأ مكان يحتمل أن يختاره أى فرد للعيش فيه. وحتى السنين الباكرة من القرن التاسع عشر كان معدل الوفيات يفوق معدل المواليد فى كل مدينة تقريباً من مدن العالم الكبيرة. والطريقة الوحيدة التى تمكنت بها هذه المدن من الإبقاء على عدد السكان فيها خلال معظم التاريخ البشرى كانت بواسطة جذب المهاجرين بمعدل يعوض عن الارتفاع البالغ فى معدل الوفيات فى الحضر[١٦]. وبالطبع، كانت بعض المدن تفشل فى فعل ذلك، وهى الآن لا يسكنها سوى علماء الآثار.

(*) الجائحة وباء يصيب أعداداً كبيرة فى مناطق كثيرة من العالم. (المترجم)

(**) للطاعون نوعان أساسيان أحدهما يصيب الغدد الليمفارية وهو الطاعون الدبلى والآخر يصيب الرئتين. (المترجم).

ومن الطبيعى أن أفراد البشر لم يندفعوا أفواجًا إلى فخاخ الموت هذه إلا لأن هناك أسبابًا مغوية أغرتهم بذلك. وأوجه الجذب كانت فى كل الحالات اقتصادية فى الواقع: فالمدن تقدم فرص عمل وتقدم شراكًا ثقافية - أى الثروة والازدهار. والمدن لا تولد ثروتها بأن تكون عوالم صغيرة مغلقة على ذاتها، وإنما هى بدلاً من ذلك تولد ثروتها بالتجارة المنتظمة مع شبكات من المدن الأخرى. وهكذا نشأت شبكة متوسعة من الطرق التجارية كان من نتائجها غير المتوقعة أنها زادت زيادة عظيمة من فرص الميكروبات لأن تعدى عشائر جديدة من البشر العائلين للميكروبات الذين يعيشون فى ازدحام كثيف .

وفرت نشأة المدن لطفيليات البشر الدقيقة ظروفًا إيكولوجية(*) جديدة رائعة. وعلى الرغم من أن تطوير أمراض بشرية جديدة كثيرة أمر قد دفعت إليه نشأة المدن بهذه الطريقة، إلا أن أكثر هذه الأمراض إرهابًا حتى الآن هو بلا ريب الطاعون الدبلى المميت. وقد تفشت أخطر أوبئة هذا المرض المهلك فى القرون السادس والرابع عشر والسابع عشر ميلاديًا. وهذه الأوبئة الثلاثة وحدها ربما تكون قد قتلت عدداً إجماليًا يقرب من ١٣٧ مليون أوروبى، بالإضافة إلى أعداد غير معروفة من الأسيويين، وإن كانت بالتأكيد أعداداً كبيرة .

والعامل المسبب للطاعون الدبلى هو جرثومة عصوية (باسيلوس) تسمى يرسينيا بستيس[١٧]، وهى جرثومة يبدو أنها كان لها على الأقل عائلان طبيعيان من الحيوانات طيلة آلاف كثيرة من السنين قبل نشأة مدن البشر على هذا الكوكب. وأحد هذين العائلين هو الجرذ الأسود الشائع راتس راتس، الذى يعرف أيضًا بجرذ البيت أو جرذ السفينة أو جرذ النهر. والعائل الآخر هو برغوث الجرذ المسمى إكسينوبسيلا كيوبيس، الذى يستمد غذاءه بمص دم الجرذ الأسود. ويتكاثر الميكروب العصوى فى تيار الدم فى الجرذ المصاب بالعدوى، لتصل العدوى أخيراً إلى رئتى الجرذ أو جهازه العصبى بما يسبب فى النهاية موته متشنجًا. على أن الجرذ يظل حتى قرب وفاته وهو يتحمل إصابته بالعدوى على نحو جد معقول (بل إن ذلك قد يستمر لسنة أو ما يقرب)، وأثناء

(*) نسبة للإيكولوجيا وهى فرع البيولوجيا الذى يدرس العلاقة بين الكائنات الحية وبيئتها (المترجم).

هذا الوقت تكون هناك فرصة كافية لإنتاج أجيال عديدة من الجرذان الوليدة. وفى نفس الوقت فإن برغوث الجرذ يمكنه أيضًا أن يتحمل فى أمعائه ما يصل لمئات معدودة من الآلاف من الميكروبات العصوية وبعدها يأخذ فى تقيؤ الميكروب العصوى أثناء محاولة البرغوث للحصول على غذائه. وإلى أن يقتل العصوى برغوث الجرذ النمطى، فإن هذه الحشرة الدقيقة الصغر يكون لديها أيضًا الفرصة لإنتاج أجيال عديدة من البراغيث الوليدة.

وقبل أن يموت الجرذ المصاب بالعدوى، تكون عشيرة العصوى فى دمه قد تكاثرت تكاثرًا دراميًا بحيث إنه ما من برغوث فوق جسمه يمكنه أن ينجو من العدوى. وعندما يموت الجرذ بالفعل، فإن هذه البراغيث (الحساسة جدًا لتغيرات درجة الحرارة) تهجر فى التوّ عائلها الميت وتبحث عن مصدر جديد للتغذية. وعلى الرغم من أن البرغوث يأكل يوميًا إذا أتيح له العائل، إلا أنه يمكنه أن يعيش بدون أكل لمدة تصل إلى الأسبوعين. وفى هذه الفترة يكون هناك احتمال كبير لأن يعثر البرغوث المصاب بالعدوى على جرذ جديد، سوف يصاب على الأقل فى آخر الأمر بعدوى عصوى الطاعون. وبهذه الطريقة يمرر العصوى جيئة وذهابًا من الجرذ إلى البرغوث ومن البرغوث للجرذ، جيلاً بعد جيل، فى مجتمع يكون مغلقًا بالضرورة. ويطرح بعض العلماء أن هذه العملية ربما تكون قد استمرت طيلة مليون من الأعوام قبل أن يظهر أول وباء بشرى للطاعون الدبلى.

ونحن لا نعرف على وجه التأكيد متى قفز الميكروب العصوى لأول مرة عبر الأنواع ليطفر فى سلالة يمكن لها أن تصيب البشر بالعدوى. وقد تفشى وباء غريب يحمل بعض أوجه شبه للطاعون الدبلى مكتسحًا أثينا قرابة عام ٤٣٠ ق.م.، ثم حدث فى روما بعد سنة ٣٠٠ ميلادية بوقت قصير أن تفشى وباء مماثل وإن كان أكثر شدة وقتل مئات الآلاف. ثم وفد فى سنة ٥٤٠ ميلادية وباء الطاعون الكبير فى عصر جوستينيان، وهو وباء وثّقه معاصروه توثيقًا جيدًا بما يكفى لئلا يدع أى شك لدينا الآن فى أن هذا كان حقًا تفشيًا لوباء الطاعون الدبلى[١٨]. وقد نشأ هذا الطاعون أصلاً فى مصر السفلى، وانتقل شمالاً إلى الإسكندرية على ساحل المتوسط، ثم رحل من هناك إلى

فلسطين، وانتشر بعدها إلى القسطنطينية (التى كانت وقتذاك عاصمة الإمبراطورية الرومانية)، ومن الواضح أن الوباء كان هكذا يتبع الطرق التجارية الكبرى.

فى سنة ٥٤١ عاد الإمبراطور جوستنيان إلى عاصمته من حربه الفاشلة فى فارس، وعند عودة الإمبراطور أصابه الرعب وهو يجد أن رعاياه يموتون بمعدل يصل إلى ١٠٠٠٠ فرد فى كل يوم. بل قد تعذر حتى حفر قبور جماعية بالسرعة الكافية، ولهذا أمر جوستنيان أن تزال أسقف الأبراج فى أسوار المدينة لتوفر أماكن كافية لتكديس الجثث، ثم يصب الجنود محلولاً كاوياً على هذه الأكوام العالية من الجثث لتعجل بتحللها. على أن هذا الإجراء العنيف لم يكن كافيًا للتخلص من الأعداد الهائلة للأفراد الذين يموتون. وفى النهاية امتلأت كل أبراج المدينة بالجثث المتحللة، وأصبح من اللازم تحميل الموتى فى سفن، تؤخذ إلى عرض البحر وتشعل فيهم النيران. وأصاب المرض جوستينيان نفسه، وتولت زوجته تيودورا الملك أثناء مرضه. وعلى الرغم من أن جوستينيان شُفى من المرض، إلا أنه لم يسترد أبداً كامل قواه البدنية وظل باقى حياته وقد تخلف فيه عيب فى الكلام. وبحلول عام ٥٤٢، كان الوباء قد قضى على حياة ٤٠٪ من سكان مدينة القسطنطينية العظيمة، والحقيقة أن هذه قد تكون الضربة الأخيرة التى أدت إلى سقوط الإمبراطورية الرومانية فى الشرق الأوسط. وأثناء ذلك لم يتوقف الطاعون عند القسطنطينية، وإنما واصل انتشاره تجاه الشمال والغرب، وتناقصت شدته تدريجيًا حتى قرب سنة ٥٩٠، حين أصبح من الظاهر أن الحالات التى أُبلغ عنها وقتها هى آخر الحالات. وعندها كان الوباء قد دمر الكتلة الحرجة من السكان اللازمة لأن يواصل الوباء وجوده كمرض بشرى .

كان هذا الطاعون أشد إبادة للبشر عما كان بالنسبة للجرذان أو البراغيث، وهذه خاصية شائعة فى الأمراض التى تثب من نوع لآخر. كما أن الميكروب العصوى قد وجد طرائق جديدة لينقل نفسه مباشرة من شخص للآخر، بدون حاجة للاعتماد على البرغوث كعائل وسيط. وتواكب هذين العاملين قد أتاح للعصوى أن يدمر نفس الظروف البيئية التى أسهمت فى انفجاره السكانى هو ذاته. وهكذا فإن الميكروب العصوى كان ناجحًا جداً فى تكاثره وناجحًا جداً فى قتله لعائليه من البشر، بحيث أدى ذلك إلى إيقافه هو نفسه عن العمل.

وعلى الرغم من أن أحداً لم يدرك هذه الحقيقة لقرون كثيرة، فإن هناك ثلاث طرائق مختلفة يستطيع بها الطاعون أن يهاجم ضحاياه. وإحداها هي حقن الميكروب العصوى في الدم بواسطة لدغة البرغوث. وفي هذه الحالة ستنقضي عدة أيام قبل ظهور الأعراض الأولى من الإحساس بالآلام، والقشعريرة والتشوش والإرهاق. ثم تأخذ بقع أرجوانية في الظهور على الجلد، يعقبها خفقان في القلب، وانهيار في الجهاز العصبي يصحبه ألم مروع، وبعدها مرحلة قصيرة من قلق ورعب وحشيين (وينتج عن ذلك أحياناً ما يسمى "رقصة الموت")، ثم يحدث الموت نفسه غالبًا. وهذا التتابع في الأعراض يستغرق على نحو نمطي فترة من خمسة إلى سبعة أيام. على أن الشفاء لا يكون مستحيلا، وإذا حدث فإن الضحية يصبح محصنًا ضد عودة المرض طيلة حياته.

وهناك شكل ثان للمرض (لعله في الحقيقة هو الشكل الأكثر شيوعًا) وهو الطاعون الرئوى، حيث ينتقل الميكروب العصوى مباشرة من شخص للآخر بواسطة الهواء. ومرة أخرى فإن فترة الحضانة(*) هي من يومين إلى ثلاثة أيام، ثم يأتي سعال دموي شديد، فالموت خلال الأيام المعدودة التالية. ويبدو أن هذا الشكل من المرض يؤدى إلى الموت بمعدل لا يقل عن ١٩ وفاة من كل ٢٩ حالة. أما في الشكل الثالث للمرض، فإن لدغة الحشرة تقدح الزناد في التو لتفاعل الجسد بعنف من تسمم دموى، ويموت الضحية على نحو ثابت في نفس اليوم (وربما خلال ساعات معدودة) قبل أن تظهر أى أعراض رئيسية مرئية. وهذا المسار الثالث للمرض مازال غير مفهوم فهمًا جيداً، والحقيقة أن الأمر هنا ربما يتطلب وجود حامل للمرض غير برغوث الجرذ (لعله يكون بعوضة تنقل الميكروب العصوى مباشرة من إنسان لآخر). والروايات المعاصرة تطرح أنه ما من أحد قد نجا حيًا من طاعون التسمم الدموى.

في عام ١٣٤٥، بعد طاعون جوستينيان بثمانية قرون، بدأت البلاغات تصل إلى أوروبا عن وباء مخيف في الشرق الأقصى. وفي السنة التالية، مع موت الملايين في الهند، كان هذا الطاعون يمتد على طول الطرق التجارية الراسخة إلى الغرب. وحسب الروايات المعاصرة دخل الوباء لأول مرة إلى أوروبا فوق سفينة تنتمي لجنوا أبحرت من القرم إلى ميناء مسينا الصقلي ورست هناك في سنة ١٣٤٧ ببحارتها الذين أصابهم

(*) الفترة من بدء العدوى بالميكروب حتى ظهور أعراض المرض (المترجم) .

المرض والموت. وعندما أخذ المرض ينتشر فى المدينة، قام سكان مسينا بطرد كل السفن الأجنبية ثانية إلى البحر (كان هذا الإجراء متأخراً جداً حتى إنه لم يكن له أى تأثير على تفشى الطاعون بين سكان مسينا أنفسهم) – لترسو السفن فى النهاية فى أماكن أخرى معجلة من انتشار الوباء. وبحلول نهاية العام، كان الوباء قد انتشر فى شمال إيطاليا. وفى يونيو من عام ١٣٤٨ كان الوباء قد غمر كل إيطاليا، ومعظم فرنسا، والجزء الشرقى من أسبانيا. وبعد ذلك بستة شهور، ظهر فى جنوب إنجلترا وألمانيا. وبحلول يونيو عام ١٣٤٩ كان الوباء قد تعمق فى إنجلترا كما ظهر فى جنوب أيرلندا، وغمر كل فرنسا، بينما كان يزداد توسعاً فى ألمانيا. وعند نهاية عام ١٣٤٦، أحست الدنمارك وأسكتلندا بآثاره. ثم انتشر الوباء شرقاً فى عام ١٣٥٠ خلال إسكندنافيا. والناس الذين يعيشون فى ريف أوروبا كثيراً ما كان الوباء لا يصيبهم، إلا أن المدن أصابها الدمار. وإجمالاً، فقد قتل الطاعون ما يقرب من ثلث الأوروبيين الأحياء فى عام ١٣٤٧ .

ومن مدينة للأخرى، نجد روايات رهيبة تصف الأعداد الضخمة للجثث، ومشاكل التخلص منها، والتأثير النفسى على من نجوا أحياء. والطاعون الدبلى كان إلى حد بعيد أشد الكوارث الطبيعية قتلاً فى العصور الوسطى. وقد أهلك هذا الوباء عدداً من الأنفس يزيد بأمثال كثيرة عن عدد من هلكوا فى طاعون جوستينيان الأسبق، وذلك ببساطة لأنه فى عام ١٣٤٧ كان هناك عدد أكبر كثيراً من الجيوب ذات الكثافة السكانية العالية، حيث يمكن للميكروب العصوى أن يتحمل ترف قتل عوائله ثم يظل هناك عوائل آخرون ينتقل إليهم. وقد قدر الفاتيكان فى عام ١٣٥١ أن الطاعون قد قتل بالفعل ٢٤ مليون نسمة من الأوروبيين، ومن المرجح أن هناك بالإضافة ٢٠ مليون فرد قد ماتوا قبل أن ينهى الفرع الأوروبى للوباء مساره حوالى نهاية ذلك القرن. وفى نفس الوقت، فإن قائمة الموتى فى الشرق الأوسط وآسيا كانت فيما يحتمل أعلى من ذلك. على أنه من العجيب أن معظم بولندا لم تصب بالوباء ، وهذه الخبطة من الحظ الحسن لعبت دوراً كبيراً فى ظهور هذه الدولة كقوة كبرى ثقافية وسياسية فى أواخر القرن الرابع عشر، وهو دور ظلت تلعبه على مسرح التاريخ الأوروبى طيلة القرنين التاليين.

أباد الطاعون الكبير عدداً من البشر باكفأ من أى حرب عرفها البشر قط، وقد يبدو أن هذه المراضة العالية كانت ستؤدى إلى أن ينعكس عنيفاً منحنى تزايد السكان.

على أن الحقيقة هى أن المعدل الصافى لتزايد السكان كان فيما يبدو سلبيًا لسنوات معدودة فحسب عندما كان الطاعون يكتسح ما فى طريقه. ثم حدث خلال جيلين بعد الطاعون أن زاد عدد سكان العالم إلى ما يتجاوز مستواه قبل الطاعون، وفى القرون الستة التى مرت من وقتها لم يحدث قط أن مر سكان العالم بفترة أخرى من انخفاض صافى عددهم، ولا حتى أثناء الحربين العالميتين فى القرن العشرين .

ظهرت وقتذاك نظريات معاصرة كثيرة عن سبب الطاعون الدبلى، يعتمد معظمها على تفسيرات فوق طبيعية أو تنجيمية. ولو أن أحدهم اقترح حقًا أن الجرذان والبراغيث لها دورها، فإن من الواضح أن أحداً ما كان ليأخذ هذا الاقتراح مأخذاً جديًا . وبالطبع، فإن الكائنات الدقيقة لم تكن معروفة فى القرن الرابع عشر، وبالتالى لم يكن هناك أى سبيل لاحتمال إمكان لإنشاء نظرية كاملة عن الوباء فى ذلك الوقت .

بعد ذلك بما يزيد قليلاً عن قرنين، فى عامى ٦٥ – ١٦٦٦ ظهر الطاعون ثانية فى غرب أوروبا . وكانت ذروة الوباء فى لندن صيف ١٦٦٥، حيث كان يموت ٢٠٠٠ فرد أسبوعيًا . على أن الطاعون فى هذه المرة لم ينتشر نفس الانتشار السريع، ولم يكن قاتلاً بمثل ما سبق. واستمر من وقتها هذا الاتجاه بأن يتفشى المرض بعنف أقل وعلى نطاق أكثر تحدداً: وكمثل ، فإن وباء الطاعون الدبلى فى سان فرانسيسكو سنة ١٩٠٧ وُثق فيه ١٦٠ حالة مرضية و٧٧ حالة وفاة (وكان هذا قبل ظهور العلاج بالمضادات الحيوية). والآن يتم فى كل سنة نمطية الإبلاغ عن مئات معدودة من الحالات على نطاق العالم كله، مع معدل وفيات يتأرجح الآن حول ٣٪ ويطرح هذا أن الميكروب العصوى قد تطور إلى شكل حيث أصبح ثانية فى حالة توازن نسبى مع بيئته الأرضية، التى أصبح السكان البشر فيها أحد أجزائها المتكاملة.

برنامج لأوبئة المستقبل

الكوارث ، حسب التعريف، هى تلك الأحداث التى تقتل وتقعد وتدمر. ومع قدر ما نوفره نحن لأمنا الطبيعة من فرص متزايدة لإنزال الدمار، فإنه ينبغى ألا ندهش عندما نجد أنها أحيانًا تفعل ذلك. وعندما يضع الإنسان بيضًا كثيراً فى سلة واحدة

فإنه بذلك يعرض نفسه لأخطار أعظم، بصرف النظر عن مدى اجتهادنا فى حماية هذه السلة. ومخاطر الكوارث تكون دائمًا أعظم عندما يتكدس السكان على أنفسهم فى جيوب كثيفة من البشر بدلاً من أن يوزعوا أنفسهم باتساق على المساحة المتاحة من الأرض. على أن التجمع جزء من طبيعتنا كبشر، وهذا لن يتغير أبدًا كثيرًا. والأمر الذى يلزم أن ندركه أننا كلما زاد تجمعنا زاد تعرضنا للمخاطر.

ومع هذا، فإن الأحداث الطقسية والجيوفيزيائية تنحو إلى أن يتولد عنها كوارث محددة محليًا بقدر كبير، لا تؤثر إلا فى السكان الذين بلغ من سوء حظهم أنهم قد تركزوا بأنفسهم فى المنطقة المصابة. إن سحب الموت من البحيرات البركانية، فى والفيضانات التى تدفعها الرياح الموسمية، وكذلك الزلازل، كلها يمكن أن ينتج عنها معاناة بشرية هائلة، ولكن أخبار هذه الأحداث تسبب التعاطف بدلاً من التنبه لدى الناس المقيمين خارج منطقة الكارثة. ولا يتوقع الواحد منا أن أحد الأعاصير سيتولد عنه وباء عالمى من العواصف الاستوائية، أو أن أحد الزلازل سينشأ عنه تتابع من زلازل تتزايد بمتوالية هندسية لتحيط بالكرة الأرضية. وعلى الرغم من أن المدن عمومًا تكون أشد تأثرًا بهذه الأحداث، فإن احتمال أن أى مدينة بعينها ستكون ضحية لها وهى فى موضعها المحدد، لهو احتمال جد منخفض عادة.

والبشر يُزيدون تعرضهم للخطر عندما يزيدون من أعدادهم فى هذه المناطق التى تتعرض لثورات أمنا الطبيعة الأكثر عنفًا. ومن الوجهة الموضوعية ليس من المعقول زيادة عدد الأفراد الذين يعيشون فى سهول الفيضان فى بنجلاديش، أو أن يسمح بهجرة أكثر إلى أجزاء ساحل كاليفورنيا الأكثر تعرضًا للزلازل. على أن تزايد السكان نفسه ظاهرة طبيعية تمامًا، وهى ظاهرة أخذ التحكم فيها ينصاع بالكاد لفهمنا العلمى الاجتماعى الذى مازال فهمًا منقوصًا. والناس يعيشون حيثما يعيشون، وينتقلون حيثما ينتقلون ويتكاثرون حيثما يتكاثرون.

وعندما نرى السكان يزيدون فى المناطق الأكثر تعرضًا للمخاطر فإن فى هذا سببًا خطيرًا للانشغال، ومع هذا فإن الأمر الأكثر خطورة بما له قدره هو عندما تقوم المخاطر نفسها بالانتقال. فالميكروبات المعدية ليست أبدًا مقيدة بمناطق جغرافية معينة،

فهى تنتقل إلى حيث تكون المدن. وعندما ننشئ نحن البشر نظم انتقال أسرع وأوسع، فإننا نوفر لميكروباتنا الطفيلية الموجودة حاليًا ومستقبلاً شبكة من قنوات ذات كفاءة قصوى للانتقال من جيب لآخر من الجيوب ذات الكثافة السكانية البشرية العالية. ونحن الآن نجد أن المرض المعدى الذى ينشأ حديثًا لديه الفرصة لأن ينتشر عبر الكرة الأرضية بمعدل يعلو كثيرًا على انتشار الطاعون الدبلى فى القرن الرابع عشر[١٩].

وحتى لو تجاهلنا الاعتبارات الإنسانية الواضحة، فإن الدول اليوم لم يعد يمكنها بعد أن تتحمل تكلفة إهمالها لأى وباء على أنه مجرد كارثة محلية، مهما كان هذا الوباء فى منطقة بعيدة من العالم. فبالنسبة لأحد الميكروبات فإن العائل الواحد من البشر يصلح له جيدًا تمامًا مثل الآخر، والانتقال من واحد منا للآخر أمر جد سهل. وسكان كرتنا الأرضية قد وصلوا إلى قدر من الكثافة بحيث قارب النوع البشرى من أن يكون حساء أجار(*) فى طبق واحد كوكبى لتربية الميكروبات، حيث قد يحدث فى النهاية أن سلالة لأحد الميكروبات الانتهازية ستصيب بعدواها كل الجنس البشرى. وإذا كنا نود ألا يحدث هذا، فسيلزم أن ننتبه للأمر. ننتبه علميًا.

وبالطبع، فإن من الحقيقى تمامًا أنه حتى الأوبئة الكبرى والحروب العالمية فى التاريخ لم يكن لها إلا تأثير صغير فى تعداد البشر الذى يتزايد بمتوالية هندسية. ولكن على الرغم من أن بعض المتفائلين يجدون فى هذه الملاحظة ما يجعلهم يحسون بأمان كبير، إلا أن هناك أيضًا أسبابًا قوية لأن نجد أن هذه الملاحظة فيها ما ينذر. فإذا واصلنا نحن البشر زيادة عددنا بلا هوادة، على الرغم من كل ما قامت به أمنا الطبيعة فى التاريخ حتى تقلل من معدل زيادتنا، وعلى الرغم من القيود الواضحة التى يفرضها الحجم المحدد لكوكبنا، فسوف نكون فى حاجة لأن نسأل عما سيحتاج إليه الأمر حتى يصل السكان البشر إلى توازن مستمر. ولسوء الحظ، فإن السلوك الإنجابى لنوعنا يبدو أنه يمضى بنا إلى مسار نحو كارثة فى المستقبل أبعادها لا يمكن تخيلها. وسيكون هناك دائمًا فيما حولنا أنواع كافية من الكائنات الدقيقة التى تطورت حديثًا لتساعدنا فى هذا الجهد.

(*) الأجار : مادة هلامية تستخلص من الطحالب البحرية وتستخدم لتربية مزارع الجراثيم فى المعامل الطبية. (المترجم) .

وحتى ننهى النقاش بنغمة أكثر تفاؤلاً، فإن الجنس البشرى يمتلك بالفعل بعض أشياء تعمل فى صفه. وكمثل، فنحن النوع الوحيد الذى توصل لأى فهم للكيمياء الحيوية التى تخصه هو نفسه، ونحن قد أنشأنا بنية تحتية كوكبية من التعليم والاتصالات تتيح للمعرفة الجديدة أن تنتشر سريعًا. والأمراض الجديدة، ما إن تلاحظ فى أى مكان أو زمان إلا وتجذب إليها على الفور فرقًا من العلماء يعملون على إنماء الفهم المطلوب كشرط ضرورى لاحتواء وعلاج هذه الأمراض على نحو فعال. والعلوم الطبية الحديثة هى فى الحقيقة علوم واعدة وعداً عظيمًا بالنسبة لمستقبل الجنس البشرى. أما التحدى الذى لم يجابه بعد فيكمن فى التأكد من أن السكان من البشر أنفسهم لن يتزايدوا بسرعة تسبق سرعة تقدم العلوم الطبية.

الهوامش

(١) H. Sigurdsson. J.D. Devine. F.M Tchoua et al., Origin of the lethal gas burst from Lake Monoun, Cameroun, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 31 (1987), 1-16; H. Sighurdsson, A dead chief's revenge? Scientists now understand the mechanics of the deadly Cameroun gas burst one year ago, but the trigger is still a mystery, Natural History, 96 (1987), 44-9.

(٢) كان من الممكن حتى أن تكون لهذه السحابة من ثاني أكسيد الكربون كثافة أكبر بسبب تبريدها بالتمدد. وهذا التأثير التبريدي يفسر أيضًا وجود السحابة البيضاء، ذلك أن التبريد يسبب تكثف بخار الماء ليخرج من الهواء فوق البحيرة. وغاز ثاني أكسيد الكربون نفسه غاز شفاف.

(٣) G. W. Kling, M.A. Clark, H. R. Compton et al., The 1986 Lake Nyos gas disaster in Cameroon, West Africa, Science, 236 (1987), 169-75.

(٤) تزعم بعض المراجع أن في بنجلاديش مائتين وخمسين نهراً. وعلى الرغم من أنني لم أتمكن من تأكيد هذا الرقم بالذات، إلا أن دراسة الخرائط تثبت أن العدد كبير جداً في الحقيقة.

(٥) استقيت مادة هذا القسم من مدى واسع من شتى المصادر الثانوية، بما في ذلك التقاويم والأطالس والمصادر الجديدة المعاصرة. وعلى الرغم من أن بعض بيانات معينة قد تبدو مشوشة بعض الشيء، إلا أن الصورة العامة المنبثقة صورة صحيحة.

(٦) ظهرت تنويعات على هذه القصص في إصدارات عديدة، ومن الواضح أن بعضها يرجع وراء إلى قرن أو أكثر. والمبدأ العام يمكن العثور عليه مبكرًا حتى عام ١٢٤٠ في كتابات الرياضي الإيطالي ليوناردو فيبوناتشي. وعادة يرجع الفضل إلى توماس مالتوس في أنه أول من طبق هذه المبادئ الرياضية على تزايد عدد سكان البشر، وذلك فيما كتبه عام ١٧٩٨ في "مقال عن المبدأ السكاني". وتنبأ مالتوس بأن سكان العالم سيتسحقون بالمجاعة والمرض بحلول أوائل القرن التاسع عشر؛ وعندما لم يتحقق ذلك، نُظر إلى مؤلفاته عمومًا نظرة ساخرة متشككة. على أن وقوع خطأ على مدى ١٥٠ سنة يعد أمرًا تافهًا تمامًا بالمقياس الزمني للتطور البشري. وربما يثبت في النهاية أن مالتوس أساسًا مصيب، وأن التوقيت الذي طرحه هو فقط الذي كان فيه خطأ بسيط. وقد أعيد إحياء حجج مالتوس الأصلية منذ عقود قليلة فيما عُد وقتها أنه كتاب كالقنبلة، وهو

P.Ehrlich & A. Ehrlich, Population, resources, and environment (New York: Freeman, 1970).

انظر أيضاً هامش ٨ لهذا الفصل.

(٧) قد يلاحظ القارئ الأريب أن المعادلة لا تعطي بالضبط نفس زمن المضاعفة مثل حساب السلسلة الحسابية. والحقيقة أن المعادلة أكثر دقة عن السلسلة، لأن السلسلة يفترض فيها أن كل الولادات تحدث في آخر يوم من السنة، بينما هي في الحقيقة تحدث باستمرار خلال السنة كلها.

(٨) تطرح بعض التحليلات العلمية أن أقصى حد لقدرة الأرض على حمل البشر في المدى الطويل هي فحسب ١,٥ إلى ٢ بليون فرد، الأمر الذي يعني أننا بالفعل قد "تجاوزنا" هذا الحد بعامل من ٣؛ وهذه النتيجة قد طُرحت في الاجتماع ، السنوي للجمعية الإيكولوجية لأمريكا في ١٢ أغسطس، ١٩٩٤، بواسطة بول أرليخ من جامعة ستانفورد وجريتشن ديلي من جامعة كاليفورنيا في بيركلي. وقد كُتب قدر كبير من مواد أخرى عميقة الفكر عن أزمة السكان في العالم وهناك ثلاث مقالات شائعة يمكن أن تهم القارئ هي:

J.E. Cohen. How many people can the earth hold? Discover, Nov. 1992, 114-25; C. C.Mann. How many is too many? Atlantic Monthly, Feb. 1993, 47-67; and E. Linden, Megacities, Time, Jan. 11, 1993, 28-38.

(٩) ما قدر من أن ذروة سكان جزيرة إيستر تبلغ ٢٠٠٠٠، يناظر متوسط كثافة سكانية من ١٢٢ فرد لكل كيلو متر مربع. وهذا يماثل تقريباً الكثافة السكانية الحالية لبولندا أو الصين، ويصل فقط إلى ١٥٪ من كثافة بنجلاديش حديثاً.

(١٠) D.W. Steadman, Prehistoric extinctions of Pacific island birds: Biodiversity meets zooarchaeology, Science: 267 (1995), 1123-31; Paul Bahn, & John Flenley, Easter island, earth island (London: Thames & Hudson, 1992); J. Diamond, Easter's end, Discover, Aug. 1995, 62-9.

(١١) في عام ١٩٦٢ نال جيمس واطسن، وفرنسيس كريك، وموريس ويلكنز جائزة نوبل في الطب عن أبحاثهم في تحديد تركيب جزيء دنا.

(١٢) على الرغم من أن الانتخاب الطبيعي لا يبرمج على وجه التخصيص "كيف" يموت الفرد، إلا أن من الشيق أن نلاحظ أن الأغلبية العظمى من وفيات معظم الحيوانات تنتج عن حرمان الأعضاء والأنسجة المهمة حيوياً من الأوكسجين (بصرف النظر عن أن يكون السبب الظاهر لذلك هو مثلاً نوبة قلبية، أو الغرق أو السرطان، أو الطاعون الدبلي). ولمزيد من التفاصيل والنظرات في عملية موت الإنسان أوصي بقراءة كتاب:

S.B. Nuland, How we die (New York: Vintage/Random House 1994).

(١٣) Carl Sagan, Cosmos (New York: Random House, 1980) chap. 2.

(١٤) من أمثلة ذلك الأنثراكس، والإيبولا، والحمى الصفراء . والسبب الوحيد لأن هذه الأمراض بقيت غامضة هو أنها تقتل بسرعة كبيرة جداً بحيث إنها لا تجد فرصة كبيرة للانتشار.

(١٥) This point is argued persuasively in L. Garrett, The coming plague: Newly emerging diseases in a world out of balance (New York: Penguin, 1994).

(١٦) F. Cartwright, Disease and history (New York: Crowell, 1972).

(١٧) يظل هناك رأى علمى لأقلية، ترى أنه قد يكون هناك ميكروب عصوى آخر، وإن كان له علاقة ما بالعصوى الأصلى، هو المسئول عن تفشى الأوبئة التاريخية الكبرى للطاعون الدبلى. ولما كان أى دليل مباشر على ذلك سيكون قد اختفى منذ زمن طويل، فإن من غير المحتمل أن هذه القضية سيتم قط حلها حلاً قاطعاً.

(١٨) Accounts and historical analyses of the spread of the bubonic plagues can be found in P. Zeigler. The black death (New York: Harper, 1971), William McNeill, Plagues and peoples (Gardens City, N.Y.: Doubleday, 1976); Geoffrey Marks & William Beatty. Epidemics (New York: Scribners, 1976).

(١٩) B. LeGuenno, Emerging viruses, Scientific American, Oct. 1995, 56-64

الفصل الخامس

بحار غير مستقرة

الفعل عن بُعد

أحد الملامح الشائعة فى الكوارث المتريولوجية والجيوفيزيائية هى أن مكان الدمار قد يكون بعيداً تماماً عن مصدر انطلاق الطاقة. وقد ناقشنا عدداً من الأمثلة فى الفصول السابقة: مثل تخريب لشبونة بموجة تسونامية تولدت بعيداً عن شاطئها بمئات الكيلو مترات، وتدمير مدينة مكسيكو ستى بزلزال مركزه بالنسبة لسطح الأرض يبعد عن المدينة بثلاثمائة وخمسين كيلو متراً للغرب، وسُحقت جونستاون بموجة فيضان بدأت أصلاً على بعد ٢٢ كيلو متراً أعلى التيار. والنمط الملاحظ هو أن أمنا الطبيعة تمقت بشدة وجود تركيزات طاقة جد محدودة فى الموقع. وعندما ينطلق تفجر كبير من الطاقة، بزلزال مثلاً أو بركان، فإن الطبيعة تجد دائماً طريقة ما لنشره سريعاً فيما حوله. وبالتالى فإن البشر الذين يُنقلون بعيداً عن حدث جيوفيزيقى أو متريولوجى قد يظلون رغم ذلك فى خطر عظيم - وهذه الفكرة أبعد من أن تكون مطمئنة. ومن الجانب الآخر، مع الفهم الكافى للميكانزمات الطبيعية لنقل الطاقة، فسيكون لدينا أحياناً نحن البشر فرصة لإنذارنا مسبقاً، وبالتالى فرصة للاستعداد مسبقاً.

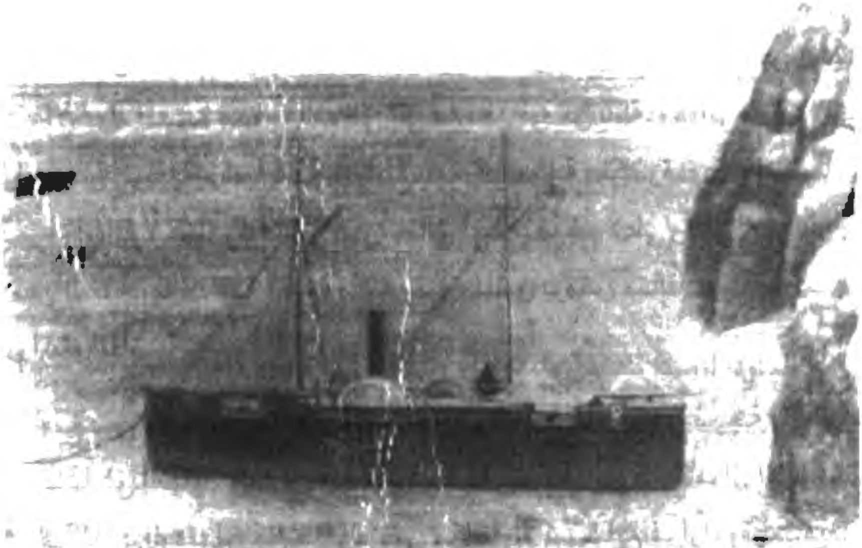
سندرس فى هذا الفصل إحدى حيل أمنا الطبيعة لنشر تركيزات الطاقة: أمواج المياه. أما الفصل التالى فسوف نعتمد فيه على مادتنا الحالية لنرى كيف يمكن فهم الزلازل كظاهرة موجية تشترك فى أمور كثيرة مع موجات الماء.

جنوب بيرو (شمال شيلى الآن)١٨٦٨

تعرض ٢٣٥ بحار أمريكى على ظهر سفينة حربية لبحرية الولايات المتحدة تدعى "ووترى" إلى خبرة مباشرة بموجة تسونامية ، ربما كان الكثيرون منا سيميلون إلى إهمال أمرها على أنها مختلفة لو لم يكن توثيقها جد قوى [١]. فهذه السفينة انزلقت فوق قمة موجة تسونامية ثم وصلت إلى أن تستقر فى صحراء أتاكاما على مبعدة من الساحل بما يقرب من ٤ كيلو مترات (٣ أميال) وبما يبعد داخل الأرض بثلاثة كيلومترات (تقريباً ميلين) عن مكان رُسُوها الأصلى. والصورة الفوتوغرافية فى شكل (٥ ، ١) تبين تلك السفينة الحربية التى دُفعت فوق الأرض، وعلى مقربة منها يرقد حطام عدة سفن بيروفية، عُثر على إحداها وقد التفت سلسلة مرساتها حولها بقدر ما يسمح طولها، مما يدل على أن السفينة قد تقلبت بالموجة مرة بعد أخرى. إلا أن سفينة "ووترى" استقرت معتدلة وسليمة، ولم تفقد سوى بحار واحد، كان وقتها فى قارب إنقاذ صغير. أما سكان المدينتين الساحليتين أريكا وإيكيك فلم يكن حظهما سعيداً هكذا، فقد أهلكت الموجة التسونامية والزلزال الذى سبقها ٢٥٠٠٠ نسمة من سكانهما [٢].

كانت السفينة "ووترى" تنتمى لنوع من السفن التى بنيت فى الولايات المتحدة قرب نهاية الحرب الأهلية لتبحر فى أنهار الجنوب الضحلة؛ ولهذا السبب فإن قاعها كان مسطحًا، كما أنها كانت بطرفين اثنين مدببين مثل قارب الكانو. وقد انتهت الحرب الأهلية قبل التمكن من استخدام السفينة فى الغرض الذى قُصدت له، وأُرسلت فى رحلة بحرية فى جنوب الهادى والساحل الغربى لأمريكا الجنوبية. وفى أغسطس عام ١٨٦٨ ألقت السفينة مرساتها فى ميناء أريكا، فيما يقع الآن بشمال شيلى، حيث أُخذ فى إجراء عمرة لغلايَاتها ومحركاتها استعداداً للإبحار للعودة إلى سان فرانسيسكو. وأريكا التى كان عدد سكانها وقتها زهاء ١٠٠٠٠، كانت المحطة الأخيرة لخط السكة الحديد الوحيد الذى يربط الساحل ببوليفيا ، وبالتالى فقد أصبحت المدينة مركزًا لمتاجر الآلات اللازمة لخدمة قاطرات وعربات السكك الحديدية ، وكذلك أيضًا خدمة السفن.

بدأ الزلزال ضربته عند الرابعة مساء فى ١٣ أغسطس، وأحس الناس على سطح السفينة بالهزات الأولى. وجرى معظم البحارة على السطح وراقبوا فى هلع المدينة وهى تتأرجح مثل "أمواج بحر مضطرب"، ثم ما لبثت أن تهاوت فى سحابة هائلة من التراب. وأخذت المياه فى الميناء تمور وتصطخب، وتجر مجموعة السفن الدولية الراسية فى اتجاهات لا يمكن التنبؤ بها وتحطم بعضها على الصخور التى تحف بالميناء. وتجمع من نجوا فى المدينة على الرصيف وسرعان ما جرفتهم بعيداً موجة هائلة فى الميناء. وفى عجلة، أخذت البارجة البيروفية "أمريكا" فى تشغيل محركاتها وحاولت الخروج إلى عرض البحر، ولكن بلا طائل. وبكلمات الرير أدميرال ل.ج بيلينجز وهو يروى الحدث بعدها بسنوات كثيرة، "فى هذه المرة تراجع البحر حتى خلَّف السفن



شكل (٥ ١) سفينة الولايات المتحدة الحربية "ووترى" وقد دُفعت داخل الأرض مسافة ٢ كيلومترات بعد أن ارتطمت بها موجة تسونامية عند أريكا فى ١٣ أغسطس سنة ١٨٦٨ . محفوظات بحرية الولايات المتحدة، مع لمسات ترميم للصورة الفوتوغرافية الأصلية.

جانحة على الأرض وأمكننا على مدى ما وصلت إليه رؤيتنا تجاه البحر أن نرى قاع البحر بصخوره، وهو مشهد لم تقع عليه قط أعين البشر من قبل، والسمك ووحوش الأعماق تناضل وقد خُلفت فوق اليابسة. وانقلبت السفن ذات القاع المستدير على طرفها العريض، بينما استقرت السفينة "ووترى" بسهولة على قاعها المسطح، ثم عاد البحر، ليس كموجة، وإنما في مد هائل، عاد مكتسحًا ليقلب السفن التعسة المصاحبة لنا مرة وأخرى، تاركًا إياها وبعضها قاعه لأعلى وبعضها الآخر كتل من حطام، وارتفعت "ووترى" بسهولة فوق المياه المتلاطمة، دون أي أذى".

ورواية بيلينجز تصف أيضًا كيف أن هذه الموجة العائدة قد ابتلعت قلعة وجرفت بالكامل كل حاميتها البيروفية بعيداً وعدداً من المدافع عيار ١٥ بوصة يزن كل واحد منها عدة أطنان. ويتلاءم كل هذا مع وصف موجة تسونامية تولدت عن زلزال تحت البحر يقع مركزه قريبًا إلى حد كبير من الشاطئ . على أن قبطان "ووترى" كان ولابد رجلاً حذراً جداً، ذلك أنه هيأ البحارة للمزيد مما سيأتي. ونعود إلى كلمات بيلينجز إذ يقول "كان الظلام الآن قد حل منذ بعض الوقت ولم نكن نعرف أين نحن، وأضاف غياب الأضواء المعتادة للمنار والشاطئ إلى ما نحن فيه من بلبلة. وحوالي ٣٠ : ٨ مساء صاح بحار المراقبة مناديًا للسطح وأبلغ باقتراب موجة متكسرة. وعندما نظرنا تجاه البحر، رأينا أولاً خطًا رفيعًا من ضوء متألق أخذ يتضخم لأعلى وأعلى حتى بدا وكأنه يلامس السماء، كانت قمة الموجة مكللة بضوء المنون يومض متألقًا مبينًا ما تحتها من كتل المياه الغاضبة.

ومع دويٍ راعدٍ منذرٍ كآلاف الموجات المتكسرة معًا، ها هي موجة المد الرهيبة تحط علينا في النهاية. وبدا أن هذا أسوأ ما حل بنا من بين كل الأهوال التي أصابتنا في ذلك الوقت الرهيب. وكنا مغلولين في مكاننا، لا نستطيع فراراً، وقد تأهبنا بكل تجهيز يمكن أن تطرحه المهارة البشرية، وأصبحنا وليس في وسعنا إلا أن نرقب الموجة الوحش وهي تدنو منا وليس لدينا أي تصرف نستعين به ليساندنا، وكل ما كان في وسعنا هو أن نتشبث فحسب بحبل الإنقاذ ونحن نترقب الكارثة آتية إلينا". توصلت السفينة إلى أن تستقر على الرمال على بعد ٣ كيلومترات داخل الأرض وقد نجت من

الارتطام بإحدى الصخور التى تبعد عنها ٦٠ متراً لا غير. وفى صباح اليوم التالى قاس ملاح السفينة أعلى علامة للماء على الجبل المجاور عند ارتفاع ١٤,٣ متراً (٤٧ قدماً) فوق الرمال، "ولا يتضمن هذا تكسر" الموجة (وإن لم يكن واضحاً كيف تم إثبات هذه الأخيرة). وقدرت وقتها هيئة الولايات المتحدة للمسح الساحلى والجيوديسى(*) أن ارتفاع الموجة التسونامية كان تقريباً ٢١ متراً(٧٠ قدماً) عندما ارتطمت بالسفينة "ووترى". وفى أريكا جرفت هذه الموجة بعيداً قطعاً ثقيلة من الآلات التى فى متاجر الماكينات، بل وقطارات كاملة للسكك الحديدية، بما فى ذلك القاطرات، بدون أن تترك وراءها أى أثر.

فى إيكيك التى تبعد ١٩٢ كيلو متراً (١٢٠ ميلاً) إلى الجنوب، كشفت الموجة المتراجعة عن الخليج حتى عمق يبلغ ٧,٣ متراً (٢٤ قدماً) ثم عادت فى موجة قمتها ١٢ متراً (٤٠ قدماً) ابتلعت المدينة. وأدى الزلزال الذى ولد الموجة إلى أن ترتفع على نحو دائم أجزاء من خط الشاطئ بين أريكا وإيكيك بما يصل إلى ٦ أمتار (٢٠ قدماً). وسُجلت الموجة التسونامية فى جزر ساندويتش، التى تبعد بمسافة ٥٥٨٠ ميلاً بحرياً، وكان هذا بعد ارتطامها بأريكا بزمن لا يزيد عن ١٢ ساعة و٣٧ دقيقة. وحتى تنتقل الموجة كل هذه المسافة بكل هذه السرعة يجب أن يكون متوسط سرعتها قرابة ٨٠٠ كيلو متر فى الساعة (٥٠٠ ميل/ساعة) ! والطائرات النفاثة الحديثة لا تطير بأسرع من ذلك كثيراً.

وأى محاولة لوضع تفسير علمى بناء على روايات شهود العيان تعد بما لا يمكن إنكاره من الإشكاليات. على أننا إذا أخذنا رواية بيلينجز على عواهنها، سيبدو لنا أنه هو ورفقته من البحارة تعرضوا، ليس لسلسلة واحدة من الموجات التسونامية، وإنما لسلسلتين. وكان هناك فارق زمنى جد كبير، يزيد عن أربع ساعات، بين الزلزال وآخر موجة كبيرة ، وهذا فارق أكبر من أن يكون بين الحدثين صلة ارتباط ولو بسيطة. والسيناريو الأكثر معقولية يكون كالتالى: لعل أحد الهزات التابعة للزلزال (وقد ذكر

(*) الجيوديسيا فرع من الرياضيات التطبيقية يُعنى بدراسة شكل الأرض وقياس سطحها (المترجم).

بيلينجز فى روايته عدداً منها) قد قدحت الزناد لأن يقع انزلاق أرضى تحت الماء حدث عند الرف القارى، وربما كان ذلك قبالة مصب نهر يوتا، حيث يمكن للطمى أن يتراكم بسهولة طيلة قرون. ولن يتطلب الأمر إلا هزة تابعة بسيطة نسبياً حتى ينتج عنها موجة تسونامية مدمرة بهذه الطريقة، خاصة إذا كان تراكم الطمى قد أصبح من قبل غير مستقر بفعل الزلزال السابق. وإمكان حدوث تأثير متأخر كهذا يطرح أنه قد لا يكون من الحكمة بالنسبة للسكان أن يعدوا أن البحار صارت آمنة من الموجات التسونامية إلا بعد مرور ساعات كثيرة أو حتى أيام من الزلزال.

ثم ماذا حدث بعدها للسفينة "ووترى" وبحارتها؟ تم إنقاذ البحارة الجانحين براً بعدها بثلاثة أسابيع بواسطة الفرقاطة "بوهاتان" التابعة لبحرية الولايات المتحدة، وكانت فى وقفة لها حسب الجدول الزمنى. وعلى الرغم من أن "ووترى" لم يصبها عطب، إلا أنها كانت غارزة فى الرمال على نحو مينوس وعلى مسافة جد كبيرة من البحر أبعد من أن تجعل هناك أى أمل فى إعادة تعويم السفينة. وبيعت السفينة فى مزاد إلى شركة فنادق، ثم استُخدمت فى تتابع كمستشفى، وكمخزن، وأخيراً استسلمت للدمار بقذائف المدفعية أثناء الحرب بين بيرو وشيلى. وما لبثت بقايا روافدها الحديدية أن اختفت فى رمال الصحراء المتحركة فيما هو الآن شمال شيلى.

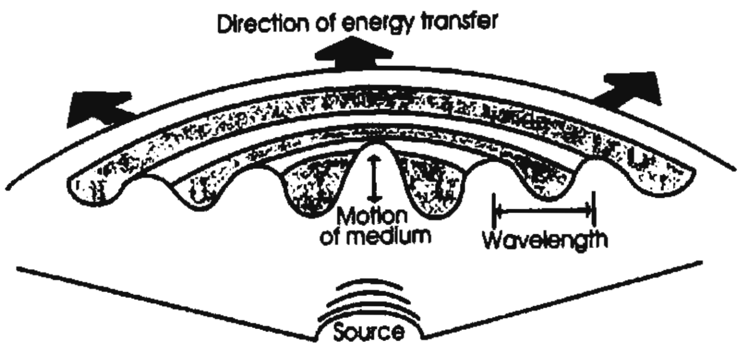
توصيف الأمواج

الموجة نوع من اضطراب ينقل الطاقة خلال وسط ما (أى أنها "أداة حمل") على نحو يظل معه الوسط سليماً بعد مرور الموجة[٣]. ووسط موجات المياه هو الماء، ووسط موجات الصوت هو الهواء، ووسط موجات الزلزال هو الصخر والتربة التى تكون الأرض. وعلى الرغم من أن الموجات الكهرومغناطيسية مثل الضوء المرئى تستطيع أن تنتقل خلال فراغ، إلا أن كل الأنواع الأخرى من الأمواج تحتاج إلى وسط فيزيقى لحملها.

وتنشأ الأمواج عندما يتشوه الوسط بتدفق مؤقت للطاقة. عندما نلقى حجراً فى بركة، فإننا نحقن طاقة فى جزء صغير من سطح البركة. والنتيجة لا تكون مجرد تناثر رذاذ، فلو راقبنا البركة عن كثب لرأينا سلسلة من دوائر ذات مركز واحد هى قمم

وقرارات موجات تنتشر خارجا من نقطة الاصطدام الأصلية. وهذه الموجات تنقل الطاقة الأصلية إلى ضفاف البركة، مسببة قدراً صغيراً من التآكل. وعندما يهدأ كل شيء ثانية، فإن البركة (الوسط) تكون تماماً كما كانت من قبل، ولكن الضفاف قد تختلف اختلافاً هيناً.

والرسم التخطيطي في شكل (٥.٢) يبين موجة ماء مصدرها ارتفاع مفاجئ في جزء من قاع البحر. فالحركة النابضة لأرضية المحيط تؤدي إلى رفع تحدب منخفض عريض من ماء السطح، يمتد عبر مساحة يمكن أن يقارن مقدارها على وجه التقريب بمقدار مصدر الزلزال تحت البحر. على أن حدبة الماء تكون غير مستقرة إلى حد كبير، وتستجيب لقوة الجاذبية التي تعود بها إلى مستوى توازنها .



شكل (٥ ٢) موجة تولدت باضطراب محلي مثالي في قاع البحر .

وأثناء انخفاضها، فإن هذه الكتلة من المياه تكتسب العزم الكافي لأن تتجاوز وضعها المتوازن الأصلي وتكون قراراً. وهذا بدوره يدفع الماء المجاور لأعلى، وبهذا فإنه ينقل الطاقة للخارج عبر سطح الماء. ويسلك الماء المجاور بمثل ذلك، وسرعان ما يغطي السطح كله نمط من تموج لقمم وقرارات تحمل الطاقة بعيداً عن مكان الاضطراب الأصلي.

وقد اضطررت وأنا أضع خطوط شكل (٥، ٢) إلى أن أرفع منه أهم خاصية للموجة: وهي حقيقة أنها "تتموج". فما بينته في الشكل هو فحسب لقطة تصوير للحظة واحدة من الزمن أعقبت سريعاً ما وقع من اضطراب في قاع البحر. وبعدها بلحظة سوف يتزحزح نمط القمم والقرارات أفقياً. ولو لاحظنا الصورة المرئية في الزمان الحقيقي، فستكون صورة نمط للسطح يتحرك باستمرار للخارج بعيداً عن المصدر.

على أن كل قطرة ماء فى الحقيقة تتحرك فى مسار بيضاوى، الأمر الذى يمكن إثباته بسهولة بإسقاط جسم يطفو فوق الموجة ومراقبة حركته. وبكلمات أخرى، فإن الموجة لا تتضمن أى نقل صاف للماء نفسه، ومفعولها الوحيد على المدى الطويل هو نقل "الطاقة".

يستخدم العلماء مصطلحات مقننة لتوصيف خواص الموجات. فالمسافة الأفقية بين قمتين متتاليتين (أو بنفس المعنى بين قرارين متتاليين) تسمى "طول الموجة". ويقاس طول الموجة بوحدات المسافات التقليدية، مثل الأمتار والأقدام والأميال. وطول الموجة يكون نمطياً بنفس الدرجة من الكبر مثل حجم المصدر (وإذ أقول "درجة الكبر" فأنا أعنى فى نطاق عامل من ١٠ أمثال أو ما أشبه). والمصادر الكبيرة مثل الزلزال تحت البحر قد ينتج عنها موجات طولها مئات عديدة من الكيلو مترات، أما المصادر الصغيرة، مثل هبات الريح المحددة على مياه عميقة، فإنها قد تولد موجات طولها فحسب ٦٠ إلى مائة متر.

وبالإضافة إلى طول الموجة فإن لها أيضاً "فترتها" التى تُعرف بأنها الزمن الذى يستغرقه طول موجة واحدة من الموجات ليجتاز نقطة ثابتة. وتقاس الفترة بالوحدات التقليدية للزمن، مثل الثوانى والدقائق والساعات. ولقياس فترة موجة الماء، يمكننا ببساطة أن نقذف علبة مشروبات فارغة فوق الموجة ونقيس زمن حركة العلبة المهتزة. فإذا كانت مثلاً تهتز لأعلى وأسفل بدورة واحدة كاملة فى ٨ ثوان، فإن فترة الموجة أيضاً تكون ٨ ثوان. وبالطبع فإن هذه أيضاً هى فترة تذبذب العلب نفسها، كما عُرفت فى الفصل الثالث فى قسم عن التحميل الديناميكى.

هناك مقدار ثالث يهمنا وهو "سرعة الموجة" السرعة التى تنتقل بها طاقة الموجة قُدماً. وكمثل، إذا كانت قمة الموجة تنتقل ٣٠٠٠ متر فى ٣٠٠ ثانية، فإن سرعة الموجة تكون ١٠ أمتار فى الثانية. وبمثل ذلك، فإن الموجة التى تنتقل ٦٣٠٠ ميل فى ١٢,٦ ساعة يكون متوسط سرعتها ٦٣٠٠ ÷ ١٢,٦، أو ٥٠٠ ميل فى الساعة. وبالطبع فإن هذه النتائج يجب دائماً أن تُعكس بوحدات القياس الملائمة.

على أن الدراسات المتكررة قد بينت أن سرعة الأمواج قابلة للتنبؤ إلى حد أنها نادراً ما تحتاج لأن تقاس مباشرة. وبكلمات أخرى، إذا كانت موجة من نوع محدد

تنتقل خلال وسط معين، فإنه لا يكون أمام سرعة الموجة أى خيار سوى أن تتخذ قيمة معينة. وجدول (٥ . ١) فيه قائمة ببعض القيم الممثلة للأمواج والأوساط المختلفة. وعند التطبيق العملى، يمكننا حساب تعديلات لهذه البيانات لعمل حساب التغيرات فى الحرارة والضغط والعوامل الأخرى التى تؤثر أحياناً فى الخصائص الفيزيائية للوسط. وعموماً، فإن العوامل التى تزيد من قدرة الوسط على إعادة نفسه لحالة التوازن سوف تزيد من سرعة الموجة، بينما تؤدى زيادة كثافة الوسط (أى قصوره الذاتى لكل وحدة حجم) إلى الإقلال من سرعة الموجة.

هناك علاقة وثيقة متبادلة بين طول الموجة وفترتها وسرعتها. والحقيقة، أن المعادلة التالية تنطبق على كل أنواع الموجات (وليست موجات الماء وحدها):

طول الموجة = الفترة × سرعة الموجة

وكمثل، إذا كان لموجة تسونامية سرعة من ٥٠٠ ميل فى الساعة وفترة من ٠,٥ ساعة، يكون طول الموجة = ٠,٥ × ٥٠٠، أو ٢٥٠ ميل. وبالمثل، إذا كان لموجة صوتية فترة من ٠,٠٢ ثانية وتنتقل بسرعة ٣٤٣ متراً فى الثانية فإن طول الموجة يكون ٠,٠٢ × ٣٤٣، أو ٦,٩ متراً. (دعنا نلاحظ ثانية أن وحدات القياس يجب أن تكون متسقة فى هذه المعادلة لتعطى إجابة لها معنى).

وبالإضافة إلى المقادير التى وصفتها فى التو، فإن الموجة أيضاً لها معلم واضح آخر: إنه ارتفاعها. فحتى المشاهد العابر سوف يلحظ أن إتلاف الموجة لمنشآت خط الشاطئ يكون أعظم عندما تكون الموجات أعلى. هل هذا مفعول خطى؟ بمعنى، هل عندما نضاعف ارتفاع الموجة، ينتج عن ذلك أنها توصل ضعف الطاقة ؟

والإجابة هى لا، إن المفعول أشد عنفاً من ذلك. وإذا تساوت كل العوامل الأخرى، فإن مضاعفة ارتفاع الموجة يزيد بالفعل من طاقتها بعامل من ٤، وثلاثة أمثال الارتفاع يزيد الطاقة بعامل من $٣^{٢}$ أو ٩ أمثال. وبالإضافة، فإن طول الموجة هو أيضاً عامل فى ذلك، فالموجات الطويلة أشد تدميراً من الموجات القصيرة. ويمكن كتابة معادلة دقيقة لذلك، ولكى يكفى لأغراضنا هنا أن نقول التالى :

طاقة الموجة "تتناسب مع "طول الموجة (الارتفاع)[٢]

ومقولات التناسب كهذه المقولة تتيح لنا أن نقارن بين موقفين بدون التعقيدات الرياضية للحسابات الأكثر تفصيلاً، وكمثل، لنفرض أن إحدى الموجات (الموجة أ) طولها ٦٠ متراً، وارتفاعها ٣,٥ م، بينما هناك موجة ثانية (الموجة ب) طولها ٥٠٠٠ متر وارتفاعها ٧ أمتار.

جدول (١.٥) "سرعة الأمواج لبعض أنواع من الأمواج فى أوساط مختلفة"

نوع الموجة	الوسط	ظروف أخرى	سرعة الموجة (م/ث)
الضوء	فراغ		٢٩٩٧٩٢٤٥٨
الضوء	الماء	٢٠ْ م ضوء صوديوم أصفر	٢٢٤٨٤٢٠٠
الضوء	الماس	ضوء صوديوم أصفر	١٢٤٠١٠٠٠٠
الصوت	الهواء	صفرْم	٣٣١,٤٥
الصوت	الهواء	٢٠ْم	٣٤٣,٣
الصوت	الماء	ماء نقى، ٢٠ْم	١٤٨٤,٧
الصوت	الماء	ماء بحر، ٢٠ْم	١٥١٩
الصوت	جرانيت	٢٠ْم	٦٠٠٠
موجة مياه	مياه عميقة	٤٠م طول الموجة ، العمق > ٨٠٠ م	٧,٩
موجة مياه	مياه ضحلة	عمق ٥ م طول الموجة > ٤٠م	٧,٠
موجة مياه	مياه ضحلة	عمق ٢٠ م ، طول الموجة > ٤٠ م	١٤,٠
موجة مياه	مياه ضحلة	عمق ١٠٠م ، طول الموجة > ٢٠٠ م	٣١,٣
موجة تسونامية	عرض المحيط	عمق ٥ كم ، طول الموجة > ١٠ م	٢٢١
موجة أ ـ بى (أ)	صخر الأديم (*)	عمق صفر كم	٥٤٠٠
موجة – بى	صخر الأديم	عمق ٢٠ كم	٦٢٥٠
موجة أ– إس(s)	صخر الأديم	عمق صفر كم	٣٢٠٠
موجة – إس	صخر الأديم	عمق ٢٠ كم	٣٥٠٠

ملحوظة: لتحويل الوحدات: ١ متر/ث = ٣,٦ كم/س = ٣,٢٨٠٨٤ قدم/ث = ٢,٣٦٩٣٦ ميل/س.
موجات بى أ (ap) وموجات إس (s) هما النوعان الرئيسيان من موجات الزلزال، والتى ستناقش فى الفصل السادس.

(*) صخر الأديم (الأساس) : صخر المنطقة الذى ترتكز عليه التربة ولم تؤثر فيه بعد المؤثرات الجوية . (المترجم) .

من الواضح أن الموجة ب تحمل طاقة أكبر. والسؤال هو : أكبر بأى قدر ؟ يمكننا معرفة ذلك بأن نحسب حاصل ضرب طول الموجة ب مع مربع ارتفاعها، ثم يقسم الناتج على ما يناظره من مقدار بالنسبة للموجة أ. ستكون النتيجة ٣٢٣ (محض رقم بلا وحدات تميزه). ماذا يعنى هذا؟ إنه يعنى أن الموجة "ب" تحمل من الطاقة ٣٢٣ "مثلاً" لما تحمله الموجة "أ". وبالتالى، فإن الموجة "ب" فى مقدورها أن تسبب تلفًا لمنشآت خط الشاطئ يساوى تقريبًا ٣٢٣ مثل ما تسببه الموجة "أ". ونلاحظ أننا نصل إلى هذا الاستنتاج بدون أن نعرف بالضبط مقدار الطاقة فى أى من الموجتين. والاستدلال النسبى من هذا النوع أداة تحليلية قوية جداً، حيث إنها تخبرنا بأشياء كثيرة مقابل ما هو قليل .

أشعر أننى بحاجة لأن أوضح نقطة أخرى بشأن هذه العلاقة بالذات من النسبوية: فهى تشير فقط إلى المقارنة بين أمواج تتماثل من كل وجه "فيما عدا" طول الموجة وارتفاعها. وإذا كان للموجتين عرضان مختلفان (أى أن إحداهما ترتطم بمائة متر من خط الساحل، بينما ترتطم الأخرى بألف متر من خط الساحل)، أو إذا كانت إحداهما تتكسر بينما لا تفعل الأخرى، فإن العلاقة لا تظل قائمة. كما أننا لا نستطيع استخدام هذه العلاقة لمقارنة نوعين مختلفين من الأمواج، كأن نقارن مثلاً بين موجة مياه وموجة من خلال الأرض. فحتى فى العلاقة النسبوية لا يمكننا أن نقارن إلا تلك الأحداث التى تكون أساساً متماثلة.

تحولات الطاقة

لما كانت فكرة "الطاقة" شائعة فى كل مكان وزمان من ثقافتنا الحديثة، فقد شعرت بأنى أمن وأنا أستخدم هذا المصطلح فى الأقسام السابقة بدون أن أعرِّفه رسميًا. على أنه ينبغى قبل مواصلة الحديث أن ندرس هذا المفهوم بعض دراسة مختصرة.

يستخدم العلماء مصطلح "الطاقة " لتوصيف قدرة إحدى المنظومات على توليد قوى متحركة. ووحدة القياس الدولية للطاقة هى "الجول" (ج)، الذى يُعرَّف بأنه القدرة

على توليد قوة نيوتن واحد يقوم بمفعوله لمسافة متر واحد. وفى معظم الظواهر المسئولة عن الكوارث الطبيعية يكون نقل القوى بمقادير كثيرة من الميجـاجول (مليـون جول) أو حتى من الجيجاجول (بليون جول). وإطلاق طاقة من ميجاجول واحد يمكن أن يولد مليون نيوتن تقوم بمفعولها لمسافة متر واحد، أو ٥٠٠٠٠٠ نيوتن تقوم بمفعولها لمسافة ٢ متر، أو ١٠٠٠٠٠ نيوتن تقوم بمفعولها لمسافة ١٠ أمتار، أو أى توليفة من القوة والمسافة تعطى نفس حاصل الضرب.

ومعرفة طاقة إحدى المنظومات لا تخبرنا بالضبط عما ستفعله المنظومة ، وبدلاً من ذلك فإنها تخبرنا عن "قدرة" المنظومة على الفعل. ولم يحدث إلا منذ ١٥٠ سنة أن أدرك العلماء أن كل حدث فيزيائى يمكن توصيفه كتحول فى الطاقة، وأن النموذج الأساسى للطاقة يمكن استخدامه للتمييز بين ما هو ممكن وما هو مستحيل من الأحداث الفيزيائية. والمبدأ الأساسى الذى يشار له على أنه "قانون بقاء الطاقة" يمكن أن يذكر كالتالى:

"الطاقة لا تستحدث قط ولا تفنى؛ وإنما هى فقط تتغير من شكل إلى آخر".

ما أشكال الطاقة التى نتكلم عنها هنا؟ لقد تم تعيين الكثير منها، ولكنها كلها تقع فى فئتين عامتين: "الطاقة الحركية" (طاقة الحركة) و"الطاقة الوضعية" (الطاقة المختزنة). والطاقة الحركية تصاحب الأشياء التى تتحرك: الريح، وجداول المياه، والموجات، والحطام المحمول بالريح، و التيارات الكهربائية، بل وحتى الجزىء المنفرد المتحرك. وبدلاً من ذكر قائمة بالمعادلات الكثيرة التى نشأت لحساب طاقة الحركة فى كل هذه الحالات، دعنا نشير ببساطة إلى أن هذه المعادلات موجودة وأنها تنحو إلى أن تكون دقيقة إلى حد معقول عندما تُستخدم الاستخدام الملائم. على أن أى منظومة ما لا تحتاج لأن تكون متحركة حتى تكون لها القدرة على إطلاق طاقة. فهناك منظومات كثيرة ساكنة ولكنها أيضاً تختزن طاقة لها القدرة على أن تنطلق: ومثل ذلك الماء خلف السد، أو الغازات المضغوطة فى قبة بركانية، أو السحب الرعدية المشحونة بالكهرباء، أو خزان للبنزين. مرة أخرى، توجد معادلات تم اختبارها لحساب معظم هذه الأنواع المختلفة من الطاقة الوضعية. والشرط الوحيد لذلك هو أن تكون بيانات القياس المتعلقة بالأمر متاحة لتتأسس عليها هذه الحسابات .

ومع إبقاء هذه الأفكار في ذهننا، هيا نعود إلى شكل (٥،٢) . إن قانون بقاء الطاقة يخبرنا أن الموجات التي على سطح الماء لا يمكن أن تحوز طاقة إجمالية أكثر من الطاقة التي يطلقها المصدر - وهو هنا زلزال تحت الماء. والحقيقة أنه لا يقترن بأمواج الماء نفسها إلا جزء من الطاقة المصدر؛ فبعض الطاقة المنطلقة ينتقل خلال قاع البحر في شكل موجات زلزال، ويتحول جزء صغير إلى حرارة، وقد تدخل بعض الطاقة إلى الجو كموجة صوتية. والطاقة المنطلقة من المصدر هي حاصل جمع الطاقة "الكلية" لموجات المياه زائد موجات الزلزال زائد الحرارة زائد الموجات الصوتية. ولو حدث ذات يوم أننا سنتمكن من التنبؤ بالطاقة التي يطلقها أحد الزلازل قبل أن يقع، سيكون من الممكن أيضًا إرساء الحدود القصوى للدمار الممكن الذي سيسببه ما ينتج من موجات الزلزال و/أو الموجات التسونامية. ومن الواضح أن إنجازًا علميًا كهذا ستكون له قيمة عظيمة بالنسبة لمخططي الكوارث .

وبالطبع، فإن ثمة ارتباطًا آخر ينبغي ذكره هنا، وهو تأثير مسافة البعد عن المصدر. ومن الواضح تمامًا أننا كلما زاد بعدنا عن الحدث الجيوفيزيائي، قلَّ ما نتعرض له من دمار. وهذا أمر يترتب على الهندسة البسيطة: فعندما يتمدد صدر الموجة الدائرية في كل الاتجاهات بعيدًا عن مصدرها، فإن طاقتها تتوزع على مسافة تتزايد كبرًا، ويقل ارتفاع الموجة. وإجمالي طاقة الموجة مازال موجودًا ولكنه لم يعد بعد متركزًا في نفس المساحة من المكان. ولما كانت منشآتنا البشرية تشغل مقادير محددة في المكان، فإنها ستمتص فقط جزءًا صغيرًا من طاقة تلك الموجة التي أتيحت لها الفرصة لأن تتمدد قبل أن ترتطم .

على أنه تحدث أحيانًا مفاجآت كريهة. فمن الممكن للموجات أن تنحرف وتتركز في بؤرة بفعل عقبات في مسارها، وذلك على نحو يجعل الطاقة تزيد تركيزًا بدلاً من أن تقل. وكمثل لذلك، حدث في أبريل ١٩٣٠ أن كانت هناك موجات ارتفاعها ٤ أمتار (١٣ قدمًا) بفترات من ٢٠ إلى ٣٠ ثانية وأدت إلى إزاحة حجارة يصل وزنها إلى ٢٠ طنًا في حاجز أمواج في لونج بيتش بكاليفورنيا، بينما لم يكن هناك غير أدنى نشاط للموج بطول الشواطىء المجاورة إلى الشمال والجنوب وكانت موجات البحر

بارتفاع من نصف المتر فحسب. ولم يوجد تفسير لذلك إلا بعد سبعة عشر عاماً: كان هناك تحدب تحت المياه على بعد ٦ كيلو مترات كان له مفعول عدسة ركزت الأمواج الآتية من اتجاه بعينه في بؤرة، وعندما حدث أن هذه الموجات كانت لها فترة من ٢٠ إلى ٣٠ ثانية، فإن نقطة بؤرة هذه العدسة انطبقت بالضبط في موضع حاجز الأمواج(٤). والمصدر الفعلي للأمواج المدمرة كان بصورة واضحة على بعد آلاف الكيلو مترات. ولما كان تحليل هذا الحدث صعباً حتى بعد وقوعه، فإن من غير المحتمل أن يتمكن المهندسون من التنبؤ به مهما كان مقدار ما يؤبونه من دراسات وحسابات مسبقة. وحتى بالنسبة للظواهر التي نتفهم ميكانزماتها تفهماً جيداً إلى حد معقول، فإن أمنا الطبيعة تظل ، فيما يبدو ، تحتفظ بقدرتها على أن تأخذنا على غرة.

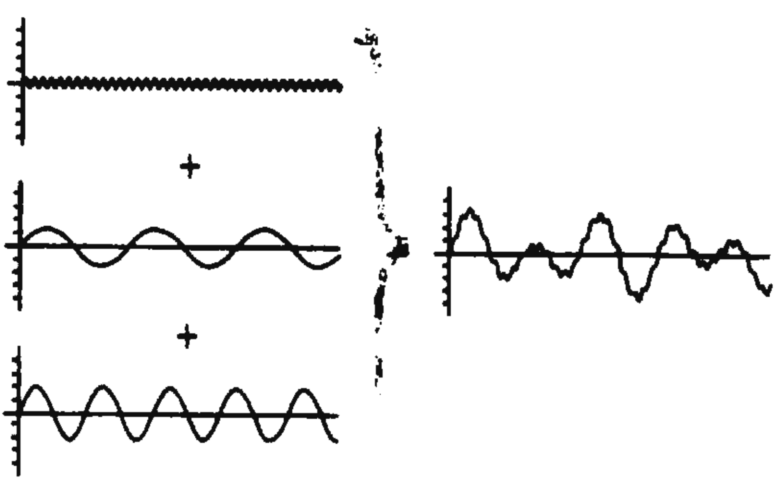
تراكب الأمواج

تحدثنا حتى الآن عن الموجة المثالية، التي لها خواص محددة جيداً من فترة وطول موجة وسرعة ارتفاع. ومثل هذه الأمواج يمكن تكوينها بسهولة في حوض الأمواج في المعمل، وخواصها مفهومة جيداً. على أن الطبيعة لا تتحكم في متغيراتها بحرص كما يفعل العلماء، وإذا نظرنا إلى سطح كيان مائي في عاصفة من الريح، أو إلى تسجيل سيسموجرافي لزلزال، سيكون من الواضح في التو أن مفعول الموجة ليس له طول موجة واحدة ولا فترة موجة واحدة محددة جيداً. وبدلاً من ذلك فإن الوسط يبدو وكأنه تقريباً في حال من خلط عشوائي .

في عام ١٨٢٢، اكتشف الرياضي الفرنسي جان بابتيست فورييه أن كل شكل للموجة المركبة يمكن النظر إليه كحاصل جمع سلسلة من الموجات المثالية البسيطة، كل واحدة منها لها خواصها المحددة جيداً من فترة وطول وارتفاع. وثبت في النهاية أن هذا الاكتشاف أكثر من أن يكون مجرد حيلة رياضية، فالموجات المركبة تنتج بالفعل في الطبيعة عن تراكب أمواج بسيطة عديدة. والرسوم التوضيحية في شكل (٥، ٢) تبين الطريقة التي تتحد بها أربع موجات بسيطة لتكون عندما تنضاف معاً موجة أكثر تركباً.

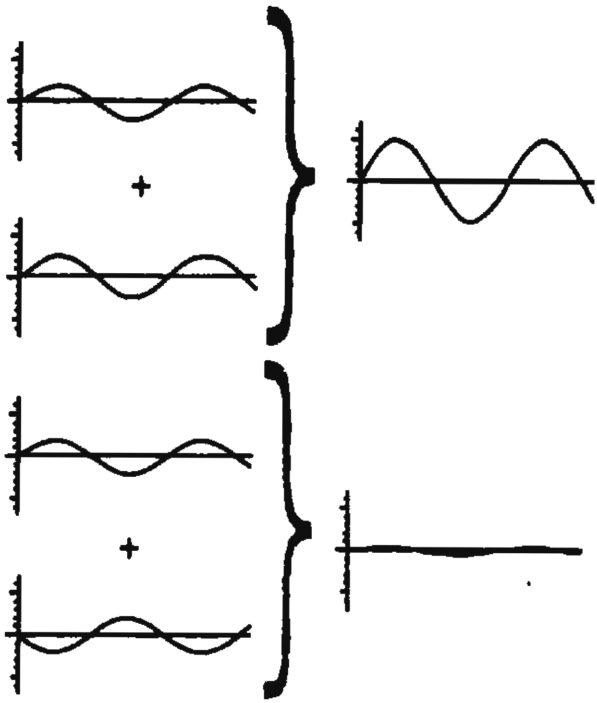
عندما نقول إن الموجات "تتضاف" أو "تتراكب" فإننا نعنى أن الواحدة منها تركب فوق قمة الأخرى فيزيقيًا. على أن الأمواج لها قرارات مثلما لها قمم، وبالتالى فإنه يحدث أحيانًا أن الموجة وهى تشكل قمتها تملأ القرار لموجة أسفلها، بحيث يختفى كل فعل للموج عند هذه النقطة من المكان. وهذه الظاهرة تسمى "التراكب الهدام". ولكن عندما تتحد موجتان لينتجا لا موجة، أين تذهب الطاقة؟ تكمن الإجابة فى حقيقة أن الأمواج لها امتداد فى المكان والزمان معًا. وأى طاقة تختفى عند أحد الأماكن لابد وأن تظهر فى بعض مكان آخر، وبالذات فى أقرب الأماكن حيث للأمواج المتراكبة قمم وقرارات متطابقة. وحيثما يحدث ذلك، فإننا نقول إن لدينا "تراكب بنّاء". وهذه الظاهرة معروضة فى الرسومات التوضيحية شكل (٥ ، ٤) .

سطح المحيط عند أى لحظة يكون ناتجًا عن تراكب أمواج كثيرة من مصادر كثيرة، من الجائز أن يكون بعضها بعيدًا تمامًا (كأن يكون مثلاً عاصفة فى الأسبوع الماضى قبالة ساحل أفريقيا، أو عاصفة أقرب، أو رياحًا محلية، إلخ). وهذه الأمواج تتقاطع وهى تتحرك فى اتجاهات مختلفة، ويحدث أحيانًا للحظات معدودة أنها قد تتراكب لينتج عنها بقعة هادئة. ومن الناحية الأخرى فإنها أيضًا قد تتحد لينتج عنها موجة ضخمة مؤقتة تبدو وكأنها انبثقت من لا مكان وسرعان ما تختفى:



شكل (٥ . ٣) تراكب الأمواج: تنتج أشكال موجات مركبة عن تراكب أمواج بسيطة ذات خواص محددة جيداً من فترة، وطول وارتفاع .

وقد سُجلت حالات من هذه الأمواج "الشاردة" أو "الشبحية" يبلغ ارتفاعها ٤٠ متراً (١٣٠ قدمًا).



شكل (٥ ـ ٤) التراكب البناء والهدام للأمواج .

والموجة الشاردة يمكن أن تكون ذات مخاطر شديدة بالنسبة لسفينة كبيرة مثل شاحنة البترول، لأنها يمكن أن تعوِّم منتصف السفينة الأعلى تاركة مقدمة السفينة ومؤخرتها معلقتين فى الفضاء ومعظم السفن سرعان ما تتحطم فى هذا الوضع إلى نصفين. ولحسن الحظ، فإن الأمواج الشاردة ذات الحجم الكبير جداً نادرة نسبيًا، ويبدو أن أيًا منها لا يحدث على مسافة تقرب من الشاطئ بما يكفى لتهديد منشآت خط الشاطئ.

ومن الجانب الآخر يبدو أن إراقة البترول بكميات كبيرة كنتيجة لهذه الظاهرة الطبيعية، أمر تكرر وقوعه لأكثر من مرات قليلة.

موجات المد والجزر(*)

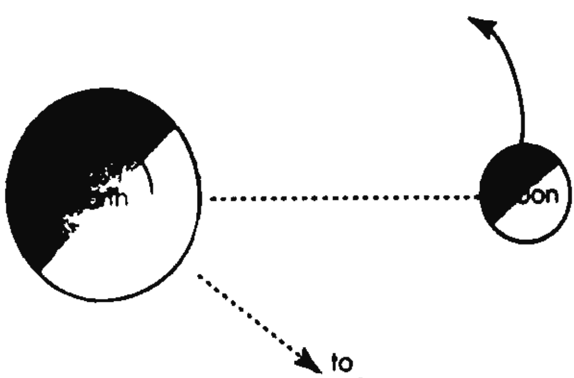
كل موجات المياه ، بما فى ذلك الموجات التسونامية وموجات العواصف، تتراكب على ما يحدث من ارتفاع وانحسار طبيعيين فى المد والجزر. والإعصار أو موجة التسونامى التى تبلغ الأرض أثناء المد العالى تطرح إذن خطراً أعظم مما لو وصلت أثناء انخفاض الجزر. وعلى الرغم من أن موجات المد والجزر فى حد ذاتها لطيفة ويمكن التنبؤ بها، إلا أنها يمكن من خلال ميكانزم التراكب أن تسبب تفاقماً أو تلطيفاً له قدره بالنسبة لما تحدثه الموجات الأخرى التى تركبها من تأثير فى خط الشاطئ.

وكما يبين الرسم التوضيحى فى شكل (٥،٥) فإن المد والجزر ينتجان عن توليفة من ثلاثة عوامل :

١- تمارس جاذبية القمر شداً على مياه المحيط التى تواجهها أقوى مما تمارسه على المياه التى لا تواجهها ؛

٢- تؤثر أيضاً جاذبية الشمس فى المحيطات تأثيراً متميزاً (وإن كان ذلك بمدى أصغر) ؛

و٣- الأرض تدور على محورها. والنتيجة هى زوجان من نتوءات المد فى محيطات الأرض، والزوج الأول يصاحب القمر والزوج الآخر الأصغر كثيراً يصاحب الشمس .



شكل (٥ ٥) نتوءات المد فى محيطات الأرض تنتج عن التأثيرات الجذبوية للشمس والقمر .

(*) Tides بالإنجليزية تشمل المد والجزر (المترجم) .

وهذه النتوءات تسلك مثل موجات طويلة جداً تندفع حول الكرة الأرضية بينما الأرض تدور من تحتها، وبكلمات أخرى : سنجد عند أى نقطة معينة من خط الشاطئ أن ارتفاع المد وانخفاض الجزر يتم إدراكهما كموجة لها فترة طويلة جداً. لأى زمن تطول؟ حيث إن الأرض تدور حول نفسها مرة كل ٢٤ ساعة، فإنه يمكننا أن نتوقع أن قِمَّتَى الموجتين اللتين يحدثهما القمر ستنفصل إحداهما عن الأخرى بفترة من ١٢ ساعة بالضبط. على أن هذا التحليل يهمل حقيقة أن القمر أيضاً يدور حول الأرض فى الاتجاه العام لدوران الأرض. وكنتيجة لذلك، فإن موجتى المد المتتاليتين يفصل بينهما فى المتوسط فترة أقرب لأن تكون ١٢ ساعة و١٥ دقيقة. وعلى الرغم من أن التحليل البسيط يطرح أيضًا أن المد ينبغى أن يكون أعلى عندما يكون القمر فوق الرءوس مباشرة إلا أننا عندما نذهب إلى الشاطئ قد نلاحظ أن المد العالى يصل فى الحقيقة قبل القمر. وتفسير ذلك يكمن ثانية فى دوران الأرض الذى يجذب معه نتوءات المد فى اتجاه الدوران.

وعلى الرغم من أن النتوءات المديّة فى عرض المحيط يكون ارتفاعها فى المتوسط قرابة ٣٠ سنتيمتراً فقط (٠,٣ متر، أو نحو قدم واحد)، إلا أنها عند خط الساحل كثيراً ما يكون ارتفاعها أعلى بما له قدره. ذلك أن الأرفف القارية(*) الضحلة نسبيًا تعمل بمثابة أسافين عندما يدفعها دوران الأرض أسفل نتوءات المد، وهذا يساعد على رفع موجات المد عند خط الشاطئ. إلى أى ارتفاع؟ يعتمد الأمر على المكان والزمان. ففى الجزر الصغيرة وسط المحيط، نادراً ما تكون تراوحات المد أكبر مما فى عرض المحيط، أى حوالى ثلث المتر. أما الطرف الأقصى الثانى فيمكن رؤيته فى خليج فندى حيث نجد أن ما لخط الساحل من شكل كالقمع مع الشكل الإسفينى لقاع البحر يحصران اتجاه طاقة المد، بحيث كثيراً ما يصل الاختلاف بين موجات المد والجزر إلى ١٢ متراً (٤٠ قدمًا) رأسيًا. أما عند أجزاء خط الشاطئ الألطف انحداراً فإن موجات المد هذه تندفع فى داخل الأرض بمسافة تصل إلى الكيلو متر أو أكثر، فى حين يحدث فى أماكن أخرى أنها تعكس انسياب الأنهار. وسيكون ذلك من الأحداث المثيرة عندما نرقبها وهى تتكشف للعيان، وهى مما يلزم أن يحذر منه باستمرار من يقضون

(*) الرف القارى ذلك الجزء من رصيف القارة المغطى بماء البحر (المترجم) .

إجازاتهم على شاطئ البحر. هكذا من الواضح أن المد والجزر عند خط الساحل يتضمنان تفاعلات معقدة بين البحر وطبوغرافية الحوض المحلى .

وموجات المد والجزر تتباين لا حسب الموقع فحسب، إنما أيضًا حسب التقويم الزمنى. ويبين الجدول (٥.٢) جدولاً للمد والجزر فى خليج أبلاتشى بفلوريدا، فى جزء من شهر يوليو ١٩٩٤، وأعلى مد (١٢٨ سم) حدث فى ٢٢ - ٢٣ يوليو، وكان هذا أيضًا تاريخ اكتمال البدر. وليس هذا مجرد صدفة، لأنه لو رجعنا ثانية إلى شكل (٥،٥) سنجد أن المتوقع أن يحدث أعلى مد عندما يتراكب النتوء المدى القمرى والشمس. وهذا يحدث مرتين فى كل شهر: مرة حين يكون كل من الشمسى والقمر تقريبًا عند الجانبين المضادين مباشرة للأرض (اكتمال البدر)، ومرة أخرى بعدها تقريبًا بأسبوعين عندما تكون الشمس والقمر فى خط واحد على نفس الجانب من الأرض (القمر الجديد). وهذه الموجات المدية الشمسية والقمرية المتراكبة يشار إليها بأنها "موجات المد الأعلى"، بينما الجزران المنخفضان اللذان يحدثان عند تربيع القمر يسميان "بالجزر المحاقى". على أنه حتى أثناء المد الأعلى قد يكون النتوءان المديان للأرض غير متساويين. ويظهر ذلك فى جدول موجات المد فى (٥، ٢) كسلسلة من موجات مد عالية ، بدأت فى ٢٠ يوليو وارتفاعاتها ١٢٢ سنتيمتراً، ثم ١٠١ و١٢٥ و١٠٤ و١٢٨ و١٠٧ و١٢٥ وأخيراً ١١٠ سنتيمترات . وبكلمات أخرى فإن كل ثانى مد عال يكون أعلى من المد العالى الأوسط. وعدم التساوى هذا فى موجات المد المتتالية يحدث عندما لا يقع القمر عند المستوى الهندسى لخط الاستواء الأرضى (وهو ما يحدث معظم الوقت). وعندما يكون مدار القمر فى خط واحد بالفعل مع مستوى خط الاستواء الأرضى، تكون موجات المد العالية المتوالية متساوية تقريبًا. ويحدث هذا مرتين فى كل سنة، ولكن فى أيام معينة تختلف من سنة لأخرى .

على الرغم من كل هذه التعقيدات، إلا أن من الممكن الآن التنبؤ بموجات المد والجزر بدرجة عالية من الدقة بالنسبة لأى يوم فى المستقبل أو لأى وقت له أهميته، واقعيًا بالنسبة لأى جزء من أى خط لساحل. والحقيقة أن البيانات التى فى كتب المد والجزر السنوية تُحسب على نحو نمطى قبلها مقدمًا بسنتين. فموجات المد والجزر

تقودها ساعة فلكية، وعندما يعمل التحليل الرياضى على نحو صحيح تكون المفاجآت أمر غير محتمل. ومع ذلك فكثيراً ما تنحشر معوقات فى هذه الساعة، ذلك أن موجات المد القابلة للتنبؤ تركب من فوقها موجات قصيرة مشهور عنها أنها كثيراً ما لا تقبل التنبؤ .

الموجات فى المياه العميقة والضحلة

"عميق" و"ضحل" هى بالطبع مصطلحات نسبية؛ فما هو عميق للإنسان قد يكون ضحلاً لسفينة. وبالمثل، فإن ما هو عميق لموجة من الموجات القصيرة قد يكون ضحلاً لموجة طويلة.

جدول (٢.٥) جدول المد والجزر لخليج أبلاتشى، فلوريدا، فى شهر يوليو ١٩٩٤

يوليو	الوقت		الارتفاع		يوليو	الوقت		الارتفاع	
١٠	د.	س	قدم	سم	أربعاء	٥٣	١٠	٠,٩	٢٧
أحد	٢٢	٠٣	٣,٥	١,٧		٤٥	١٦	٣,٧	١١٣
	٤١	٠٨	١,٣	٤٠		٠٥	٢٣	٠,٤	١٢
	٣١	١٤	٤,١	١٢٥		٢٨	٠٥	٣,٧	١١٣
	٢٦	٢١	٠,٢-	١٠	١٤	٤٨	١١	٠,٨	٢٤
١١	٥٢	٠٣	٣,٦	١١٠	خميس	٤٤	١٧	٣,٤	١٠٤
إثنين	٢١	٠٩	١,١	٣٤		٤٥	٢٣	٠,٨	٢٤
	١١	١٥	٤,١	١٢٥	١٥	٠٨	٠٦	٣,٧	١١٣
	٥٦	٢١	٠,١-	٣-	جمعة	٥٥	١٢	٠,٧	٢١
١٢	٢٢	٠٤	٣,٧	١١٣		٥٧	١٨	٣,٠	٩١
ثلاثاء	٠٤	١٠	١,٠	٣٠		٣٣	٠٠	١,٢	٣٧
	٥٦	١٥	٤,٠	١٢٢	١٦	٥٦	٠٦	٣,٧	١١٣
	٢٩	٢٢	٠,١	٣	سبت	١٤	١٤	٠,٦	١٨
١٣	٥٣	٠٤	٣,٧	١١٣		٣١	٢٠	٢,٨	٨٥

يوليو	الوقت		الارتفاع	
١٧	٣٢	١٠	١,٦	٤٩
إثنين	٥٨	٠٧	٣,٧	١١٣
	٣٩	١٥	٠,٤	١٢
	١٠	٢٢	٢,٨	٨٥
	٤٤	٠٢	١,٩	٥٨
	١٤	٠٩	٣,٧	١١٣
	٥٥	١٦	٠,١	٣
	٣١	٢٣	٢,٩	٨٨
١٩	٠٥	٠٤	٢,٠	٦١
ثلاثاء	٣١	١٠	٣,٨	١١٦
٢٠	٥٩	١٧	٠,٢-	٦-
أربعاء	٣١	٠٠	٣,١	٩٤
	١٨	٢٥	١,٩	٥٨
	٣٦	١١	٤,٠	١٢٢
	٥٢	١٨	٠,٤-	١٢-
	د	س	قدم	سم
٢١	١٩	٠١	٣,٣	١٠١
خميس	٢٠	٠٦	١,٧	٥٢
	٣٢	١٢	٤,١	١٢٥
	٣٩	١٩	٠,٥-	١٥-
٢٢	٠١	٠٢	٣,٤	١٠٤
جمعة	١٢	٠٧	١,٥	٤٦
	٢١	١٣	٤,٢	١٢٨
	٢١	٢٠	٠,٤-	١٢-
٢٣	٣٧	٠٢	٣,٥	١٠٧
سبت	٥٨	٠٧	١,٣	٤٠
	٠٥	١٤	٤,٢	١٢٨
	٥٧	٢٠	٠,٢-	٦-
	١٠	٠٣	٣,٥	١٠٧
٢٤	٤١	٠٨	١,٢	٣٧

يوليو	الوقت		الارتفاع	
أحد	٤٦	١٤	٤,١	١٢٥
	٣٠	٢١	٠,٠	٠,٠
	٤٠	٠٣	٣,٦	١١٠
٢٥	٢١	٠٩	١,١	٣٤
إثنين	٢٥	١٥	٣,٩	١١٩
	٥٩	٢١	٠,٣	٩
٢٦	٠٨	٠٤	٣,٥	١٠٧
ثلاثاء	٠١	١٠	١,٠٣,	٣٠
	٠٣	١٦	٦	١١٠
٢٧	٢٦	٢٢	٠,٦	١٨
أربعاء	٣٤	٠٤	٣,٥	١٠٧
	٤٣	١٠	١,٠	٣٠
	٤٣	١٦	٣,٣	١٠١
٢٨	٥٢	٢٢	٠,٩	٢٧
خميس	٠١	٠٥	٣,٥	١٠٧
	٢٨	١١	١,١	٣٤
٢٩	٢٩	١٧	٣,-	٩١
خميس	٢٠	٢٣	١,٢	٣٧
	٢٩	٠٥	٣,٤	١٠٤
	٢٤	١٢	١,٢	٣٧
	٢٧	١٨	٢,٧	٨٢
٣٠	٥٤	٢٣	١,٥	٤٦
السبت	٠٤	٠٦	٣,٣	١٠١
	٣٩	١٣	١,٢	٣٧
	٥٢	١٩	٢,٥	٧٦
	٣٩	٠٠	١,٨	٥٥
	٥٣	٠٦	٣,٢	٩٨
٣١	١٣	١٥	١,٢	٣٧
الأحد	٤١	٢١	٢,٤	٧٣

والاعتبار الفيزيائى الكامن هنا هو ما إذا كانت الموجة "تحس" أو لا تحس بالقاع. وإذا كان عمق الماء أقل من نصف طول الموجة فإن حركة الموجة تمتد بطول كل الطريق إلى قاع البحر، وهنا نعتبر أن الماء ضحل. وإذا كان الماء أعمق من نحو ٢٠ طولاً للموجة، فإن القاع يظل بدون اضطراب لمرور الموجة وهنا نعد الماء عميقًا. وبين هذين الطرفين القصويين منطقة تحول لا تخضع للثنائية الأرسطية "إما - أو". والموجة التى تتحرك من المياه العميقة إلى مياه ضحلة تتحول تحولاً متصلاً من موجة ماء عميق إلى موجة ماء ضحل.

والتمييز هنا مهم، ذلك أن موجات المياه العميقة تتحرك بسرعة مختلفة عن موجة المياه الضحلة. وبالنسبة لموجات المياه العميقة، تعتمد سرعة الموجة على طول الموجة:

سرعة الموجة (بالمتر/ثانية) = ١,٢٤٩ × $\sqrt{\text{طول الموجة (بالمتر)}}$ (مياه عميقة).

وهذه المعادلة تتنبأ مثلاً، بأنه فى المياه العميقة، فإن موجة طولها ٢٠ مترًا سوف تنتشر بسرعة ٥,٥٩ مترًا فى الثانية (١٢,٥ ميل/س)، بينما الموجة التى طولها ٨٠ مترًا سوف تتحرك بسرعة ١١,٢ مترًا فى الثانية (٢٥ ميل/س). وبالرجوع إلى قاعدتنا السابقة بأن طول الموجة يساوى دائمًا سرعة الموجة مضروبة فى الفترة، فإن فترتى هاتين الموجتين تكونان حسب الترتيب ٣,٥٨ ثانية و٧,١٦ ثانية. وإذن، فنحن فى هذه العلاقة، نعرف السبب فى أن سطح الكيان المائى العميق كثيراً ما يبدو جد مضطرب. فعند وجود موجات عديدة (وهى تكاد تكون دائمًا موجودة) فإن الموجات الأطول ستستمر على تجاوز الموجات الأقصر، وسنجد أن أنماط التراكب تتغير باستمرار. وتدرك العين وجود حال من الشواش بدلاً من الإيقاع الكامن فى الموجات الفردية .

وبالنسبة لموجات المياه الضحلة، التى "تُحس" بالقاع، فإن سرعة الموجة لا يعود لها بعد أى علاقة بطول الموجة. وبدلاً من ذلك يدخل متغير آخر: عمق المياه. والمعادلة التالية تصف هذا التفاعل (٥):

سرعة الموجة (بالمتر/ثانية) = ٣,١٣٢ $\sqrt{\text{عمق المياه (بالمتر)}}$. (مياه ضحلة)

وكمثل، إذا كان هناك موجة طولها ٢٠ مترًا وأخرى ٨٠ مترًا ودخلتا فى وقت واحد إلى حوض عمقه ١٠ أمتار، فإن هذه المعادلة الثانية تتنبأ بأن الموجتين ستتحركان كلتاهما

إلى الأمام بسرعة ٩,٩ متراً فى الثانية (٢٢,١ ميل/ساعة). وبسبب أن هاتين الموجتين تكون سرعتهما متطابقة فى المياه الضحلة، فإن نمط تراكبهما يكون مستقراً نسبيًا، وسنلاحظ وجود خيط واضح من قمم الأمواج يتحرك تجاه الشاطئ. وبهذا نرى أن الشواش الظاهر للمياه العميقة تنبثق منه سلسلة واضحة محددة من أمواج متجهة للشاطئ.

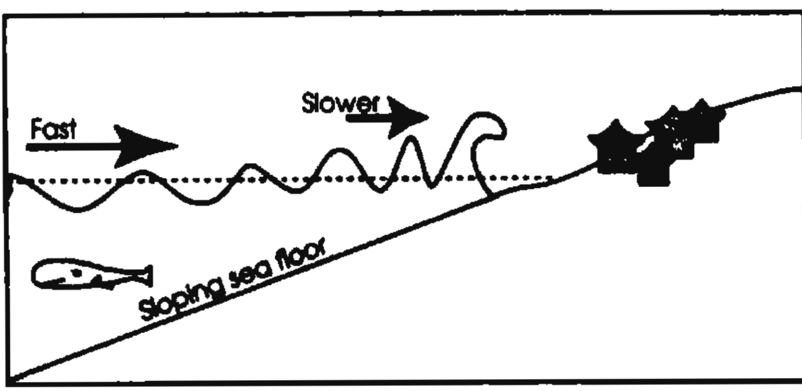
كل موجة ترتطم بخط الساحل تصبح فى النهاية موجة ماء ضحل. وعندما يتم هذا التحول، فإن سرعة الموجة تتناقص باستمرار كلما نقص عمق الماء. والمياه التى يبلغ عمقها ١٠ أمتار تتحرك فيها الأمواج بسرعة ٩,٩ متراً فى الثانية (٢٢,١ ميل/ساعة)، ولكن عندما يصبح الماء ضحلاً بعمق مترين (٦,٥ قدم) تقل سرعة الموجة إلى ٤,٤٣ متراً فى الثانية (أقل من ١٠ ميل/س). وعلى الرغم من أنه قد يبدو أن هذا الانخفاض فى سرعة الموجة ينبغى أن يجعل الموجة حميدة بدرجة أكبر، إلا أن ما يحدث فى الواقع عكس ذلك تماماً: كلما أصبح الماء أكثر ضحالة، تزيد الموجة ارتفاعاً.

لماذا؟ لأنه فى الحوض ذى الانحدار نجد أن الأجزاء المتقدمة من الموجة تلاقى المياه الضحلة قبل الأجزاء المتأخرة من نفس الموجة. وهذا يشكل حالة حيث الجزء المتأخر من الموجة يتحرك بأسرع من جزء الموجة الذى يقع أمامه مباشرة. وعندما يحدث هذا بين السيارات فى طريق رئيسى مزدحم (فى الضباب مثلاً)، ستحدث سلسلة اصطدامات برد الفعل حيث السيارات الأسرع تتكوم على ما يوجد أمامها من سيارات أبطأ. وعندما يحدث ذلك فى موجة، فإن الجزء الأسرع من الموجة يتكوم فوق الجزء الأبطأ الموجود أمامه. ولا يختفى أى جزء من طاقة الموجة أثناء تناميها على هذا النحو. وما يحدث بالفعل هو أن طاقة الموجة تصبح أثناء اقترابها من الشاطئ مركزة فى قمة موجة أعلى وإن كانت أضيق. وهذه العملية مبينة فى الرسم التوضيحى بشكل (٦،٥) ولنتذكر أنى اضطررت هنا ثانية لأن أهمل أهم خواص الموجة: وهى حقيقة أنها "تتموج".

الأمواج عندما تدخل المياه الضحلة، فإنها لا تلبث أن تبطئ من سرعتها وتزيد من ارتفاعها. ويحدث أيضاً شيئان إضافيان: يقل طول الموجات، ثم تتكسر. دعنا نفحص هاتين الظاهرتين الواحدة بعد الأخرى.

رأينا فيما سبق من هذا الفصل أن طول الموجة = سرعة الموجة × الفترة. ولفترة الموجة (الزمن ما بين القمم) تظل ثابتة نسبيًا خلال كل حياة الموجة، بصرف النظر عن مغامراتها. وكنتيجة لذلك، فإن طول الموجة ينكمش إذا قلّت سرعتها. وكمثل، إذا كان طول الموجة ٢١ متراً عندما تكون سرعتها ٦ أمتار في الثانية فإن انخفاض سرعة الموجة إلى مترين في الثانية سيكمش طولها إلى ٧ أمتار. وخلال هذه العملية تظل الفترة ثابتة إلى حد معقول عند ٣,٥ ثانية. والطول الأقصر للموجة يناظر ظاهرة "التكوم" التي وصفناها في التو، والتي يؤدي مفعولها إلى زيادة ارتفاع الموجة عندما تبطئ سرعتها .

هل يمكن قط للموجة أن تزيد سرعتها؟ نعم. إذا تولدت موجة في مياه ضحلة وانتقلت إلى مياه أعمق ، فإن سرعتها تزداد، وطولها يزداد، وارتفاعها ينقص.



شكل (٦.٥) موجات البحر تزداد ارتفاعاً عندما تدخل المياه الضحلة .

وبكلمات أخرى فإن كل العمليات التي وصفناها حتى الآن، تعمل جيدا بنفس الدرجة في الاتجاه المعكوس.

على أن "التكسر" لا يعمل أبدًا في الاتجاه المعكوس، إنه أحد شوارع الطبيعة ذات الاتجاه الواحد. والموجة تتكسر عندما لا يعود هنا بعد أمام القمة الماء الكافي للإبقاء على شكل الموجة. ويحدث هذا الموقف طبيعيًا على الشواطئ ذات الانحدار

اللطيف، عندما يصبح الماء أضحل من ارتفاع الموجة، وهو يحدث أيضًا عند حواجز الأمواج الاصطناعية، عندما تلاقى الموجة نقلة حادة من المياه إلى الصخر أو الخرسانة. وعندما تتكسر إحدى الموجات، فإن الماء عند قمة الموجة التى تتبع حركتها المدارية المعتادة، يُرمى به أمامًا فى الفراغ الخاوى. وإذا كانت الموجة عالية جدًا، فإن الطاقة الحركية التى تنطلق من هذه العملية تكون لها القدرة على إحداث دمار عظيم فى أى عقبة فى طريقها. وليست المنشآت البشرية هى وحدها المعرضة للتلف، فمن المعروف أن شواطئ بأكملها تجرف عنيفًا بين عشية وضحاها بالأمواج المتكسرة العنيفة.

وكالعادة، فإن أمنا الطبيعة لا تُبقى الأمور بسيطة. فمن الممكن لموجة أن تكتسح شاطئًا دون أن تتكسر، ومن الممكن للموجة أن تتكسر بدون أن تقترب أدنى اقتراب من مياه ضحلة. وكقاعدة تقريبية، يمكننا تصور أن الموجة ستتكسر عندما يفوق ارتفاعها ما يقرب من سُبع طولها. وإذن، فإن الموجات الطويلة جدًا، يمكنها أحيانًا أن تغمر خط الشاطئ دون أن تتكسر: والحقيقة أن من لاحظوا بعض الموجات التسونامية قد سجلوا أنه لم تكن هناك موجات متكسرة، وإنما "تدفق" للمحيط لا غير فوق خط الشاطئ بارتفاع عظيم. ومعظم أمواج المياه تولدها بالطبع الرياح. وكلما زاد ارتفاع الموجة زادت كفاءة نقل الطاقة من الريح إلى الماء بما يسبب زيادة نمو الأمواج. ومن الظاهر أن أعلى الأمواج التى خبرتها سفينة فى البحر هو ما سجله ضباط سفينة أسطول الولايات المتحدة "رامابو" فى عام ١٩٣٣، حيث قيس ارتفاعها بأنه ٣٤,١ مترًا (١١٢ قدمًا). ولم يكن فى هذه الموجة أى خطر حقيقى على السفينة، لأنها لم تكن متكسرة ولأن البحارة كانوا على درجة من المهارة الكافية لإبقاء السفينة مبحرة فى الموجة. وتطرح المحاكاة بالكمبيوتر أنه من الممكن نظريًا أن تتنامى موجة العاصفة لارتفاع من ٦٧ م (٢١٩ قدمًا)!

والموجة المدفوعة بالرياح تصل طبيعيًا إلى ارتفاع سُبع طولها ويكون ذلك سابقًا بزمن طويل لتوصلها إلى هذه النسب الضخمة، وهى عند هذه النقطة تنشر طاقتها كموجة متكسرة مزبدة يغطيها بياض. وعندها تصبح الموجة خطرة. فالموجات يكون

خطرها قليلاً إذا ما استمرت "تتموج"، ولكن عندما ينتهى الأمر بالموجة إلى التكسر أو حتى ارتفاع كبير فوق خط شاطىء، فإن قدراً مدمراً من الطاقة ينتقل لأى مما يقع فى طريقها.

الموجات التسونامية

كثيراً ما تشير المصادر غير العلمية إلى هذه الموجات المدمرة على أنها "موجات مد"، الأمر الذى يثير حنق علماء البحار الذين يواصلون الصراخ بأن هذه الظاهرة ليس لها أى علاقة بالمد. ومن المصطلحات الأكثر ملاءمة "موجات البحر الزلزالية" والموجات "التسونامية"، والمصطلح الأخير كلمة يابانية ترجمتها "موجة الميناء" (بما يعكس حقيقة أن هذه الأمواج تكون غير ضارة حتى تقترب من خط الساحل). وملحق (أ) فيه قائمة بالموجات التسونامية المهمة تاريخياً.

وتتولد الموجات التسونامية كنبضات، وهى تنشأ عندما يحدث ضخ سريع لمقدار كبير من الطاقة فى كيان مائى عبر مساحة كبيرة. والرياح العنيفة مهما كانت شدتها، لا تستطيع أن تكوِّن موجة تسونامية، لأن الريح لا تنقل الطاقة إلى البحر فى نبضة حادة. فالموجات التسونامية تتولد بالانطلاقات الفجائية للطاقة فى زلازل ما تحت البحر، وتفجرات البراكين التى بمستوى البحر، والانزلاقات الأرضية تحت البحر عند الرفوف القارية. وهى أيضاً فى بعض الحالات القليلة الشاذة تتسبب عن انزلاقات أرضية كبيرة على الساحل تتهاوى فى البحر.

والموجات التسونامية فتراتها طويلة جداً وتكون نمطياً من ٢٠ دقيقة إلى ساعة واحدة، وطول الموج يقاس بمئات الكيلومترات. ولما كانت قمم هذه الموجات جد متباعدة، فإن الملاحظين كثيراً ما يسجلون موجة واحدة ماردة. على أن هناك دائماً سلسلة كاملة من قمم الموجات فى أى موج تسونامى. وليس من الضرورى أن تكون أول قمة هى الأكبر. وينبغى ألا نرتكب أبداً خطأ افتراض أن العرض قد انتهى بتراجع قمة أول موجة.

والموجات التسونامية تحمل معها حوالى ١٪ إلى ١٠٪ من الطاقة التى انطلقت فى الحدث المسبب لها، والطاقة النمطية فى موجة التسونامى تكون فى مدى ١٠٠٠٠ جيجاجول (عشرة آلاف "بليون" جول) إلى ١٠٠٠٠٠ جيجا جول[٦]. على أنه لما كان طول الموجة التسونامية كبيراً جداً، فإن هذه الطاقة الهائلة ينتج عنها ارتفاع متواضع للموجة يبلغ متراً واحداً أو ما يقرب فى عرض المحيط. والسفينة التى فى مياه عميقة لن تلحظ حتى الموجة التسونامية وهى تمر تحتها، لأن ارتفاع الموجة وانخفاضها عبر فترة تصل إلى الساعة الواحدة قد لا يصل إلا لقرابة ارتفاع قمة سطح السفينة. وقد حدث فى ١٥ يونيو ١٨٩٦ أن قدراً مدمراً من الطاقة اندفع سريعًا بهذا الأسلوب أسفل عدة أساطيل للصيد تجاه ساحل اليابان بدون أن يُكتشف؛ وعندما عادت هذه السفن إلى ميناء موطنها، وجد الصيادون قراهم وقد جُرفت تمامًا بطول ٤٨٢ كيلو متراً من خط الساحل. وسجلت قوائم التعداد الرسمية ٢٦٩٧٥ من الموتى، و٥٣٩٠ من المصابين ودمار ٩٣١٣ منزلاً وجنوح حوالى ٣٠٠ سفينة كبيرة، أما سفن الصيد الصغيرة فقد سُحق منها أو غرق فى الموانئ ١٠٠٠٠ سفينة [٧]. ومع ذلك فإن الصيادين الذين كانوا فى المياه العميقة لم يحسوا بأى إشارة عن كل هذه الطاقة التى مرت من أسفلهم .

وكما رأينا من شكل (٥ ، ٦) والنقاش المصاحب له، فإن المياه الضحلة تقلل من سرعة انتشار الموجة، وهذا بالتالى يقلص من طول الموجة ويزيد من ارتفاعها. وإذا كان للموجة التسونامية فى عرض البحر ارتفاع من متر واحد حينما يكون طولها ٤٠٠ كيلو متر وسرعتها ٢٥٠ متراً فى الثانية، فإن انخفاض سرعتها إلى ٢٠ متراً فى الثانية سيقلل من طولها إلى نحو ٣٢ كيلوا متراً، وسيزيد ارتفاع الموجة تقريبًا بعامل من ٣٢/٤٠٠ أى إلى حوالى ١٢,٥ متراً (ما يزيد عن ٤٠ قدمًا)! والتسونامى فى الواقع لا تكتسب أى طاقة وهى ترتفع بهذه الطريقة (فهذا ينتهك قانوننا عن بقاء الطاقة). فما يحدث بالفعل هو ما يلى: الطاقة التى كانت أصلاً منتشرة فى حدبة طويلة منخفضة على سطح المحيط تصبح مركزة فى جدار مياه أضيق وأكثر ارتفاعاً. وإذا كانت الموجة الأصلية يمكنها نقل قوة متواضعة عبر مسافة أفقية كبيرة فإنها تحول نفسها إلى موجة ترتطم بالشاطئ بقوة هائلة عبر مسافة مخفضة. وكما رأينا

فى الفصل الثالث، إذا جاوزت إحدى القوى أقصى حد لمتانة المنشأ، فإن المنشأ ينهدم، بصرف النظر عن المسافة التى تواصل القوة فيها حركتها. من الواضح إذن أن طاقة موجة التسونامى تصبح أخطر كثيراً بالنسبة للبشر عندما تتركز فى الموجات الأعلى ذات الطول الأقصر التى تحدث عند خط الساحل. فإجمالى الطاقة لا يتغير، وإنما يتضخم ما يترتب عليها بالنسبة للبشر تضخماً عنيفاً.

وحتى ننمى صورة ذهنية كاملة عن التسونامى، سيكون من المفيد أن نقارن طول الموجة بعمق المياه. موجة التسونامى النمطية إلى حد كبير قد يكون طولها فى عرض البحر نحو ٤٠٠٠٠٠ متر (٤٠٠ كم أو ٢٥٠ ميلاً). وبالمقارنة، فإن المحيط الهادى يكون متوسط عمقه فقط نحو ٤٥٠٠ متر (٤,٥ كم أو ٢,٨ ميل). وإذن لو قارنا ذلك بالتسونامى، فإن متوسط عمق المحيط هو فحسب نحو ١٪ من طول الموجة! وفيما يخص التسونامى، فإن محيطات العالم ليست إلا بركًا، وحركة الموجة تمتد على طول الطريق إلى قاع المحيط.

ونتيجة ذلك، أنه حتى فى أعمق المحيطات سوف تنتشر الموجات التسونامية مثل موجات المياه الضحلة، بسرعة من الأمتار فى الثانية تساوى ٣,١٣٢ ضعفًا للجذر التربيعى لعمق المياه بالأمتار. وتتنبأ هذه المعادلة بأنه فى المياه التى يكون عمقها ٤٥٠٠ متر ستنتقل التسونامى بسرعة ٢١٠ متر فى الثانية (٤٧٠ ميل/س)! والحقيقة أن هذه السرعات الهائلة للموجة قد سجلت فى مشاهدات عديدة. وكمثل ، فإنه فى ٢٢ مايو عام ١٩٦٠ حدث زلزال درجته ٨,٥ بمقياس ريختر، رج منطقة من قاع البحر عند ساحل شيلى تبلغ مساحتها مثل ولاية كاليفورنيا، الأمر الذى سبب دماراً محلياً وبعث بموجة تسونامى اندفعت سريعًا فى المحيط الهادى. وبعد نحو ٢١ ساعة، وعلى بعد ١٧٠٠٠ كيلو متر ، جرفت هذه الموجة التسونامية مناطق توهوكو وهوكايدو فى اليابان بارتفاع للموجة وصل إلى ٩ أمتار (نحو ٣٠ قدمًا) وقتل ١٨٠ فرداً. وكان متوسط سرعة التسونامى وهى تعبر كل محيط الهادى نحو ٢٢٥ متراً فى الثانية (٥٠٣ ميل/ساعة).

وهذا المسلك يكمن فيه أكثر ما يرعب الإنسان من التسونامى، فهى تجعل المدن الساحلية عرضة لتأثير أحداث ربما تكون قد وقعت على بعد نصف المسافة حول الأرض. وجزر منتصف الهادى مثل سلسلة جزر هاواى تتعرض لهذا الخطر تعرضًا مضاعفًا، لأنها تقف وسط كيان من المياه تحيط به فى دائرة خطوط سواحل نشطة زلزاليًا، ولأن المستوطنات الساحلية تُبنى عادة بدون أن يكون فى الذهن إلا أدنى اعتبار لتراوحات المد. فى ١٣ أغسطس عام ١٨٦٨ عانت جزيرة هاواى من دمار هائل نتج عن موجة التسونامى البيروفية التى ناقشتها فى بداية هذا الفصل . وفى ١ أبريل عام ١٩٤٦ حلت بهذه الجزيرة مرة أخرى موجة تسونامى مدمرة (بلغ ارتفاعها ٩,١ م) أحدثها زلزال فى الجزر الألوسية بألاسكا. وفى ٢٣ مايو ١٩٦٠ وصلت موجة تسونامى من شيلسى إلى هيلو بهاواى مكتسحة إياها بقمم بلغ ارتفاعها ٥,٨ أمتار.

والمنظر الجوى فى شكل (٥، ٧) يبين القمة الرابعة من موجات تسونامى وهى تتسلق شاطئًا فى هاواى عام ١٩٥٢، (كان الزلزال فى هذه المرة فى شبه جزيرة كامتشاتكا فى الاتحاد السوفييتى سابقًا). ومنظر التسونامى من هذا الارتفاع المستشرف لا يكاد يظهر فيه أن التسونامى فيها ما يهدد، والحقيقة أنه بالمقياس الكبير لأمنا الطبيعة فإن التسونامى لا يصل قدرها لأكثر من موجة رقراقة.

أما بمقاييس الإنسان فإن الدمار الناجم عن التسونامى يمكن أن يكون كارثيًا. وتبين الصورة الفوتوغرافية فى شكل (٥ ، ٨) أول قمة من تسونامى عام ١٩٤٦ وهى تدمر حاجز أمواج فى هيلو.

على العكس مما قد يتوقعه معظم الناس، فإن الحرف المتقدم للموجة التسونامية لا يلزم أن يكون قمة الموجة ، ففى نصف الحالات يصل أولاً قرار الموجة، ويرى المراقبون البحر وهو يرتد سريعًا تجاه الأفق، وكأن نبتون ملك البحر قد جذب سدادة عملاقة لفتحة فى قاع المحيط. والحقيقة أن هذا قد يكون أصل إطلاق المصطلح المضلل "الموجة المدِّية"، ذلك أن من ليس لديه معلومات عن الأمر يمكن بسهولة أن يخطئ فهم حدث كهذا على أنه جزر حاد منخفض جداً وخارج الجدول الزمنى. وعندما يحدث



شكل (٥ . ٧) بمقياس الطبيعة الكبير الموجات التسونامية ليست إلا مويجات رقراقة. منظر جوى للقمة الرابعة لموجة تسونامى ١٩٥٢ وهى تتسلق شاطئًا فى الساحل الشمالى فى أواهو بهاواى. (الصورة بإذن من إدارة الولايات المتحدة القومية للمحيطات والجو) .

بالفعل أن يصل أولاً قرار موجة التسونامى، فإنه كثيراً ما يسبب نتيجة تعسة بأن يجذب حشوداً ممن يملؤهم الفضول لرؤية قاع البحر الذى تكشف حديثًا. وهذا يجعلهم فى أسوأ وضع ممكن للنجاة من القمة الأولى، التى ربما تصل بعدها بمدة من ١٥ إلى ٢٠ دقيقة وتحط عليهم بسرعة الانطلاق فى الطرق الرئيسية. وغنى عن القول، أن قواعد البيانات الجيوفزيائية لا تحوى صوراً فوتوغرافية بمستوى الشاطئ لما سوف يراه الضحايا الوشيكون مقترباً منهم.



شكل (٥ .٨) موجة تسونامى ترتطم بهيلو فى هاواى، ١ أبريل ١٩٤٦
(الصورة بإذن من مركز البيانات الجيوفيزيائى القومى)

كان ثمة فندق قديم فى قرية كابتن كوك فى هاواى، ظل لسنين كثيرة يعرض لافتة ظاهرة فى بهوه كتب عليها:

فى حالة الموجة المدِّية :

١- احتفظ بهدوئك

٢ - ادفع حسابك

٣ - اجر جرى الجحيم

ومالك هذا الفندق كان فى وسعه أن يبدو ذرب اللسان، لأن فندقه كان ينتصب فوق جزء من سفح جبل، بعيداً عن متناول أى تسونامى يمكن تصورها. أما فى الأماكن الأخرى من الجزيرة فكان السكان المحليون الذين يتذكرون خسائر حدث عام ١٩٦٠ ينحون إلى أن يأخذوا التهديد بالخطر مأخذاً أكثر جدية.

انطلقت بالفعل صفارات الإنذار من التسونامى فى هيلو عند الساعة ٣٠ : ٨ صباحاً، يوم الأحد ٢٢ مايو عام ١٩٦٠ (بما يقرب من فارق ٤ ساعات سابقة لأول قمة

موجة)، وعندها تم إخلاء ما يقرب من ٣٧٪ من السكان الذكور و٤٢ ٪ من الإناث. وبعض من أخلوا فعلاً أصابهم ، لسوء حظهم ، القلق فعادوا إلى بيوتهم قبل ارتطام الموجات. وقتلت هذه التسونامي ٦١ فرداً ودمرت بالكامل مالا يقل عن ٥٠٠ مسكن(٨). على أن الزمن مازال يعتم الذاكرة الجماعية، وقد مر الآن ست وثلاثون سنة منذ أصاب سواحل هاواى آخر تسونامي ذات أهمية. ومع غياب أى حدث كبير منذ عام ١٩٦٠، فإننا يجب أن نتساءل : كيف ستكون الآن استجابة سكان هاواى وسائحيها العديدين لأمر بالإخلاء بسبب تسونامي ؟

يتولد فى المتوسط ثلاثة أحداث تسونامية مدمرة فى كل سنة من مكان ما فى العالم. وليس من سبب يجعلنا نعتقد أن هاواى أو أى ساحل آخر مستهدف لهذا الأمر، قد رأى آخر حدث تسونامي.

ساحل المحيط الهادى

فى نيكاراجوا، ١٩٩٢

على الرغم من أن زلزال المحيط الهادى فى ١ سبتمبر ١٩٩٢ سجل درجة كبيرة نوعًا تبلغ ٧ بمقياس ريختر، إلا أن مركزه كان على بعد ١٠٠ كيلو متر (٦٠ ميلاً) من الساحل النيكاراجوى، وهناك الكثيرون على الشاطئ ممن لم يحسوا أبداً بالهزات الأرضية. وقعت النازلة بعد حلول الظلام، قرب الثامنة مساء، وفي خلال الساعة التالية أُغرقت مسافة تمتد ٣٠٠ كيلو متر (١٩٠ ميلاً) من خط الساحل فى موجات تسونامي بلغ ارتفاعها ١٠ أمتار (٣٣ قدمًا). وقتلت الموجات ١٧٠ فرداً، معظمهم أطفال نائمون، وخلفت ١٣٠٠٠ بلا مأوى. ودمرت الآلاف من المباني والسفن.

كان ثمة رجلان مسترخيان في قارب في ميناء سان خوان ديل سور، بوغتا بدوى مكتوم وصرير احتكاك بقاع قاربهم المسطح، الذى كان عند نقطة يبلغ عمق المياه فيها عادة أكثر من ٦ أمتار. وبعد كفاح نجحا في الإبقاء على قاربهما من غير أن ينقلب، ثم حولا انتباههما إلى الشاطئ: وحسب ما أبلغا به فيما بعد، فقد رأيا أنوار المدينة

من خلال ظهر قمة الموجة التي مرت في التو من أسفلهما، وبعدها بلحظات تملكهما الرعب لرؤية المدينة وقد سادها الظلام فجأة .

وأبلغ العديدون فى أماكن أخرى بأنهم رصدوا انخفاض المياه انخفاضاً بالغًا قبل أول قمة موج. كانت هذه تسونامى وصل أول قرار لها قبل أول قمة، ربما أسهم هذا العامل في زيادة معدل من بقوا أحياء. وعندما انحدر الماء نازلاً، فسّر بعض الأهالي دلالة هذا الانخفاض البالغ فى المياه تفسيراً صحيحًا وفروا جرياً إلى أرض عالية. والحقيقة أن أفراداً كثيرين ممن كانوا وقتها فى الخارج نجوا أحياء من الضربة المباشرة للتسونامي. ومعظم من ماتوا كانوا أفراداً موجودين داخل المباني عندما حلت ضربة الموجة.

وحتى نفسر كيف تمكن الكثيرون من النجاة أحياء، يمكننا أن نعتمد على نظريتنا السابقة عن موجات المياه الضحلة وما فيها بالذات من حقيقة أن سرعة الموجة تكون جد حساسة لعمق المياه. عندما يصل قرار موجة التسونامى أولاً، فإنه يتحرك فوق مياه أضحل من العمق الطبيعي، ويكون للموجة سرعة أقل (وإن كان لها ارتفاع أكبر) مما لو كانت القمة هي التى تحل ضربتها أولاً. ويظهر أنه فى معظم الأماكن على طول خط الساحل، أن التسونامي النيكاراجوية حلت ضربتها "كتدفق" كبير وإن كان يتحرك ببطء نسبيًا، بأولى من أن تكون تكسر موجة راعدة. ويتفق ذلك مع ما أُبلغ به من أن أنوار المدينة كانت مرئية من خلال الموجة، ذلك أن الضوء لا يخترق زبد الموجة المتكسرة. وهناك مئات وربما آلاف من الأفراد رفعهم هذا التحدب الكبير من المياه وألقى بهم داخل الأرض بمئات الأمتار. وأبلغ آخرون بأنهم ظلوا نصف الساعة أو ما يزيد وهم يتشبثون بحطام طاف فى الميناء حتى أمكنهم جر أنفسهم إلى الشاطئ. ومرة أخرى فإن دلالة ذلك هى ما يلي:

إن الواحد منا تكون لديه فرصة للنجاة حيًا من التسونامى إذا كان محظوظًا بما يكفى لأن يتفادى أى جزء متكسر من الموجة. على أن المنشآت عند خط الساحل، بسبب تثبيتها بالأرض، ينالها الدمار سريعاً نتيجة الحركة الأفقية للتسونامى حتى لو كانت نسبياً تسونامى "لطيفة".

إلا أن هذا الحدث بالذات قد أثار أسئلة محيرة للعلماء. فحسب نماذجنا الرياضية الحالية، فإن زلزالاً بمرتبة (٧) ينبغى ألا يحشد من الطاقة ما يكفى لتكوين أى تسونامى مطلقا. ويبدو أنه لا يوجد أى دليل على أن انزلاقًا أرضيًا تحت البحر قد وفر الطاقة المفتقدة. ونحن نزعم أن الحدث النيكاراجوى لم ينتهك قانون بقاء الطاقة، لأنه لم يحدث أن رُصد قط أى استثناء لهذا المبدأ فى ملايين من المشاهدات لكل ما يمكن تصوره من الظواهر. والأولى أننا يجب أن نفترض أن ثمة خطأ فى أى من أمرين:

١- فى نظريتنا الرياضية الأكثر تفصيلاً فى تكوين التسونامى أو،

٢- فى قياسنا لمرتبة الزلزال. وليس هذا بمجرد أمر يخص قلة من العلماء، ذلك أنه يصيب فى الصميم أى توقع لنا فى إنشاء نظام إنذار للتسونامى يكون نظامًا شاملاً يُعتمد عليه. (على الرغم من أنه يوجد بالفعل حاليًا نظام إنذار بدائى، إلا أنه يحمى فقط نحو ١٪ من السكان الذين يتعرضون لإمكان خطر حول حافة الهادى).

هل حدث هذا قط من قبل، زلزال هيِّن يقدح الزناد لتسونامى مدمرة؟ نعم، إن التسونامى اليابانية الكارثية فى عام ١٨٩٦ قد سبقتها أيضًا فحسب هزة أرضية لطيفة نسبيًا. وهذا شذوذ نادر، ولكنه يحدث بالفعل. وقد طُرحت فروض كثيرة للتفاوت الظاهر فى الطاقة بين هذه الزلازل "اللطيفة" وما يتولد عنها أحيانًا من تسوناميات غير متناسبة. ويبدو أن التفسير الأرجح هو أن بعض الزلازل تطلق جزءًا كبيرًا من طاقتها على فترات أطول مما صممت أجهزتنا السيسموجرافية المعتادة للاستجابة له. وتنتقل الأمواج الزلزالية الناتجة خلال قاع البحر كتموجات طويلة لطيفة بفترات من ٢٠ ثانية أو أكبر. ولن يتأثر البشر ولا منشأتهم الساحلية بموجات الزلزال هذه ذات الفترات الطويلة. على أن الأمر يختلف فى البحار فلو رفعنا أو خفضنا آلافًا معدودة من الكيلومترات المربعة لقاع البحر فى ٢٠ ثانية لا غير، فإن سطح البحر سوف يتشوه ليصبح تسونامى كبيرة يمكنها بسهولة أن تباغت المقيمين بالساحل. على أن الصورة العلمية لهذه العملية مازالت حاليًا منقوصة، وتظل هناك أسئلة محيرة تستدعى المزيد من البحث فى ظاهرة تولد التسونامى.

جالفستون، تكساس ١٩٠٠

فى مساء ٨ سبتمبر عام ١٩٠٠، أدت أمواج عاصفة مدفوعة بإعصار إلى إغراق عدد يتراوح بين ٦٠٠٠ و٨٠٠٠ فرد من المقيمين فى المدينة الجزيرة جالفستون، التى يبلغ عدد سكانها ٣٧٧٨٩ ، ومن حيث عدد من سُلبوا الحياة فإن هذا الحدث مازال حتى الآن يسجل الرقم القياسي لأسوأ كارثة طبيعية فى تاريخ الولايات المتحدة. ودُمر بالكامل نحو ٣٦٠٠ منزل ومئات من المبانى الأخرى، وليس من منشأ بشرى فى المدينة نجا بالكامل من التلف(٩). أما فى المناطق المجاورة فإن البحر الهائج ربما يكون قد قتل ٤٠٠٠ نسمة أخرى.

عندما ننظر إلى خريطة ساحلية للولايات المتحدة، سنلاحظ خيطًا من حاجز جزر متاخمة ضيقة طويلة تمتد بطول كل الساحل الشرقى من نيوجرسى حتى جنوب فلوريدا. وتوجد جزر مماثلة تمتد تجاه ساحل الخليج عند وسط جنوب فلوريدا، وتمتد من ذراع فلوريدا الذى يشبه يدًا لمقلاة إلى لويزيانا، ثم على كل طول ساحل تكساس على الخليج. وجزر الحاجز هى أساسًا فى شكل أشرطة رملية كبيرة الارتفاع بنيت بفعل الأمواج قرب السواحل التى ينحدر فيها قاع البحر انحدارًا تدريجيًا تمامًا. وفيما يتعلق بالأمر لا توجد جزر حواجز، ولا حتى شواطىء، عند خطوط الساحل ذات الطاقة المنخفضة؛ وكمثل، فإن هناك ٢١٠ كيلو مترات (١٣٠ ميلاً) من ساحل خليج فلوريدا بين خليجى أبلاتشى وكريستال، لا تحف بها إلا الأدغال الكثيفة من المنجروف. وحيثما يجد المرء جزيرة حاجزية، فإن هذا يؤكد له أن المنطقة يحدث لها من آن لآخر أن تسحقها موجات ذات طاقة كبيرة ، ويتأكد المرء أيضًا من أنه مع مرور الوقت الكافى (مثلاً عدة قرون) فإن كل جزيرة حاجزية يعاد إلى حد كبير تشكيلها. إذ تزحف وئيداً إلى البر الرئيسى. وكمثل، فإن منارة رأس كيب هاتيراس كانت فى سنة ١٨٧٠ تنتصب على بعد ٤٦٠ متراً من المياه، وبحلول عام ١٩٩٥ فإنها تقف على بعد أقل من ٦٠ متراً من أمواج كثيراً ما تكون ثائرة. ففى خلال ١٢٥ سنة، تراجع شاطئ هذه الجزيرة الحاجزية فى أحد جانبيه بطول أربعة ملاعب للكرة، بينما تزايد الجانب المضاد من الجزيرة.

والمستوطنون الأوائل أدركوا سريعًا أوجه عدم الاستقرار في الجزر الحاجزية، ولم يكن بينهم إلا قلة بلغت بهم الحماقة أن يبنوا مأوى دائمًا فوق هذه الأكوام من الرمال المتحركة. على أنه حدث في عام ١٨٣٨ أن كوَّن مجموعة من المستثمرين شركة مدينة جالفستون ، وأخذوا في عمل تقسيم حقيقي لأراضي جزيرة جالفستون، وهي من جزر الحاجز قرب هيوستون في تكساس. ونال هذا الاستثمار نجاحًا هائلاً، وازدهرت المدينة الجديدة كميناء رئيسي للشحن. وبحلول سنة ١٩٠٠، كان فيها منطقة للقصور عرضها خمسة بلوكات تفخر بأن فيها ستة وعشرين مليونيراً.

وفي ذلك الوقت كانت أعلى أرض في مدينة جالفستون يبلغ ارتفاعها ٢,٧ متر (٨,٧ قدم) لا غير فوق متوسط مستوى سطح البحر أو أقل من ارتفاع طابق واحد (لم يعد الحال هكذا الآن). ومن هذه النقطة كانت الجزيرة تقل ارتفاعًا وهي تنحدر إلى خليج جالفستون عند الشمال الغربي وخليج المكسيك عند الجنوب الشرقي. وعلى الرغم من أن منازل كثيرة في الأحياء السكنية كانت تبدأ من ارتفاع متر واحد أو ما يقرب من ذلك فوق سطح البحر، إلا أن هذا نادرًا ما كان يسبب أي مشكلة، لأن أمواج المد والجزر نفسها كانت عادة ترتفع وتهبط بما يصل إلى ٠,٦ متر أو أقل. على أنه كان يحدث أحيانًا عواصف استوائية ترفع أمواج البحر بما يكفي لأن تفيض على المدينة. وحدث هذا ثلاث مرات، الأولى في عام ١٨٧١ (بما أدى إلى جنوح قارب انزلاق وثلاثة قوارب شراعية في شوارع المدينة)، ومرة ثانية في عام ١٨٧٥ (حيث ارتفع مستوى البحر لأربعة أمتار فوق المستوى الطبيعي وغمر الفيضان كل الجزيرة)، ثم في عام ١٨٨٦ حيث قُتل عدد له قدره في البر الرئيسي ولكن جالفستون لم تصب إلا بتلفيات بسيطة. بعد حدث عام ١٨٨٦، نظرت لجنة في أمر بناء حاجز بحري ليحمي المدينة ولكنها نبذت الفكرة لأنها مكلفة بأكثر مما ينبغي. وكان المتوقع أنه على المدى الطويل سيكون إصلاح بعض التلفيات البسيطة في كل عقد من السنين أو ما يقارب، أرخص كثيرًا من التكلفة التي سيجلبها بناء حائط بحري مع صيانته الدائمة.

خليج المكسيك لا يوجد فيه نشاط زلزالي إلا القليل جداً، ولم تحدث أي موجات تسونامية في هذه المنطقة فيما يُعرف من الزمان التاريخي. ومن الناحية الأخرى فإن

العواصف الاستوائية والأعاصير شائعة تماماً فى الخليج. وانخفاض الضغط الجوى المصاحب لهذه العواصف كثيراً ما يرفع مستوى سطح البحر ارتفاعاً له قدره عبر مناطق واسعة جداً وتدفع الرياح أمواجًا تركب فوق "موجة العاصفة" أو "انتفاخ العاصفة"، وهذه الأمواج يمكن أن تماثل تماماً فى تأثيرها المخرب موجات هائلة من التسونامى. وهذه الظاهرة تكون مدمرة بالذات عندما يكون مسار العاصفة بطيئًا وليس سريعاً.

هكذا كان الحال فى إعصار ٨ سبتمبر عام ١٩٠٠ ، ونحن لا نعرف حقًا ماذا كانت أقصى سرعة للرياح، لأن مقياس الريح فى مكتب الأرصاد الجوية طار بعيداً عندما هبت الريح لتضرب ضربتها بسرعة ٨٤ ميلاً فى الساعة، وذلك عند الساعة ١٥ : ٥ صباحاً، وظلت العاصفة مستمرة حتى جانب كبير من الليل. على أنه بالحكم من طبيعة التلفيات التى أحدثتها الرياح، يبدو من غير المحتمل أن يكون هذا الإعصار قد نتج عنه رياح مستمرة تزيد سرعتها كثيراً عن ١٠٠ ميل فى الساعة. والواقع أن كل التخريب كان بسبب أمواج البحر وليس بسبب الريح.

لم يكن وصول هذا الإعصار الذى لا اسم له أمراً مفاجئًا، ذلك أن الموظف المحلى بمكتب الأرصاد الجوية ظل يتلقى برقيات طوال الأيام السابقة القليلة تعطى أحدث معلومات عن تقدم العاصفة خلال الأطلسى، ابتداء من عصفتها المرتجلة على جنوب فلوريدا حتى دخولها إلى خليج المكسيك. وكان الموظف قد سجل بالفعل عصر اليوم السابق فيضانًا بسيطًا فى أشد الأجزاء انخفاضاً من الجزيرة، مع أنه كانت هناك قبالة الشاطئ رياح شديدة من الشمال (وهى حالة تقلل فى الأحوال الطبيعية من شدة المد والجزر بدلاً من أن تزيدها). على أن سكان المدينة لم يحسوا بأى خطر منذر بوجه خاص، ولم يحس أحد منهم بضرورة إخلاء الجزيرة. وفى صباح ٨ سبتمبر، انخفض قياس البارومتر وسقط المطر غزيراً، ومع ذلك ذهب معظم العاملين إلى أعمالهم، وذهب نساء وأطفال كثيرون إلى الشاطئ لمشاهدة الأمواج المتكسرة الساحقة. وفى أوائل فترة بعد الظهر، عندما بدأت الريح تهب بسرعة تدخل بها فى فئة الإعصار (١١٩ كم/س أو ٧٤ ميل/س)، كانت كل منشآت خط الساحل قد دمرتها الأمواج بالفعل، وكان هناك حائط ضخم من الأنقاض يزداد اندفاعه لداخل المدينة عقب كل

صدمة من الصدمات المتتابعة للأمواج المتكسرة التى لا ترحم. وكان الوقت عندها متأخراً جداً لمحاولة الإخلاء، فلم يكن هناك أى فرصة لمركب أو سفينة بضائع لأن تنجو أثناء عبورها إلى البر الرئيسى.

عند السادسة مساء، كان البحر يرتفع بمعدل ثلاثة أرباع المتر (٢٦ قدمًا) فى الساعة، وبدأت الرياح تنحرف إلى الشرق. وعند الساعة ٣٠ : ٧ مساء وثب سطح البحر فى موجة واحدة عظيمة ١,٢ متر (٤ أقدام) فى ٤ ثوان فحسب. ومن الواضح أن عين الإعصار قد مرت غرب الجزيرة مباشرة فى وقت ما بين ٨ و٩ مساء. وعندها كانت الجزيرة كلها مغمورة بمياه عمقها على الأقل ٣ أمتار (١٠ أقدام) وكانت أمواج كثيرة ترتفع بأعلى من ذلك بستة أو سبعة أمتار. اختفت جزيرة جالفستون من الوجود لساعات عديدة رهيبة، وأصبح مصير الأفراد الأحياء يعتمد على مدى تحمل الأبنية الأكثر ارتفاعًا التى كانت طوابقها العليا تبرز فوق البحر المزبد. وانتزعت الأمواج أجزاء طويلة من قضبان الترام التى ظلت مربوطة معًا بعوارضها، وأخذت الأمواج تضرب بها صفوف البيوت التى سرعان ما تحطمت فى شظايا. وتكوّن حائط عظيم من الأنقاض يرتفع لعلو عدة طوابق ويمتد تقريباً موازياً للشاطئ، ومالبث هذا الجدار أن رسا راسخًا داخل الأرض بمسافة ستة بلوكات (شكل ٥ ، ٩). ومن هناك حتى خط الساحل الأصلى، كان كل مكان قد نظفته الأمواج من أى شيء فيه. ومن محاسن الصدف أن حائط الحطام الضخم قد عمل كحاجز أمواج بحيث أدى لساعات عديدة إلى حماية باقى المدينة من الدمار الكامل. عند ٤٥ : ١ صباحاً أخذ البحر يتراجع.

فى الصباح التالى، وجد الناجون أن ثلث الجزيرة قد كشطه الموج نظيفًا، والباقى قد تحطم بحيث لا يمكن التعرف عليه. وكان كل شيء مغطى بوحل كثيف كريه الرائحة. وأحصى أحد المشاهدين ثمانىَ وأربعين جثة تتدلى من جمالون لجسر سكة حديدية تهدم جزء منه. وبدأت محاولات فى أول الأمر لدفن آلاف الجثث فى البحر، ولكن عندما أخذت الجثث ترتد ثانية إلى الشاطئ مع المياه أصبح من الضرورى تكويمها فوق جبال الأنقاض وإحراقها. وظلت هذه المحارق الجنائزية تواصل اشتعالها من طرف الجزيرة حتى طرفها الآخر طيلة أيام وليالٍ عديدة.



شكل (٥ . ٩) حطام جالفستون في تكساس، بعد إعصار ٨ سبتمبر ١٩٠٠، هذا الجدار من الأنقاض منع الأمواج التي تدفعها العاصفة من أن تخترق طريقها لأبعد من ذلك داخل الأرض.
(الصورة بإذن من مكتبة روزنبرج، جالفستون)

دفعت أهوال الكارثة الكثيرين ممن نجوا إلى أن يهجروا الجزيرة بلا عودة. وهبطت قيمة المنشآت التي ظلت منتصبة إلى ١٠ سنتات لكل دولار. على أنه في العام التالي، عندما أصبح من الواضح أن جالفستون سيعاد بناؤها حقًا عُهد إلى هيئة من المهندسين القيام بدراسة معمقة للكارثة وإصدار توصيات عن الطريقة التي يمكن بها تجنب كارثة كهذه في المستقبل. وفي يناير عام ١٩٠٢، سلم هؤلاء المهندسون تقريرهم الذي تضمن توصية جريئة بأن المدينة بأكملها ينبغي أن يزداد ارتفاعها إلى ما يصل إلى ٣,٤ مترًا (١١ قدمًا) وأن يحميها حاجز من البحر.

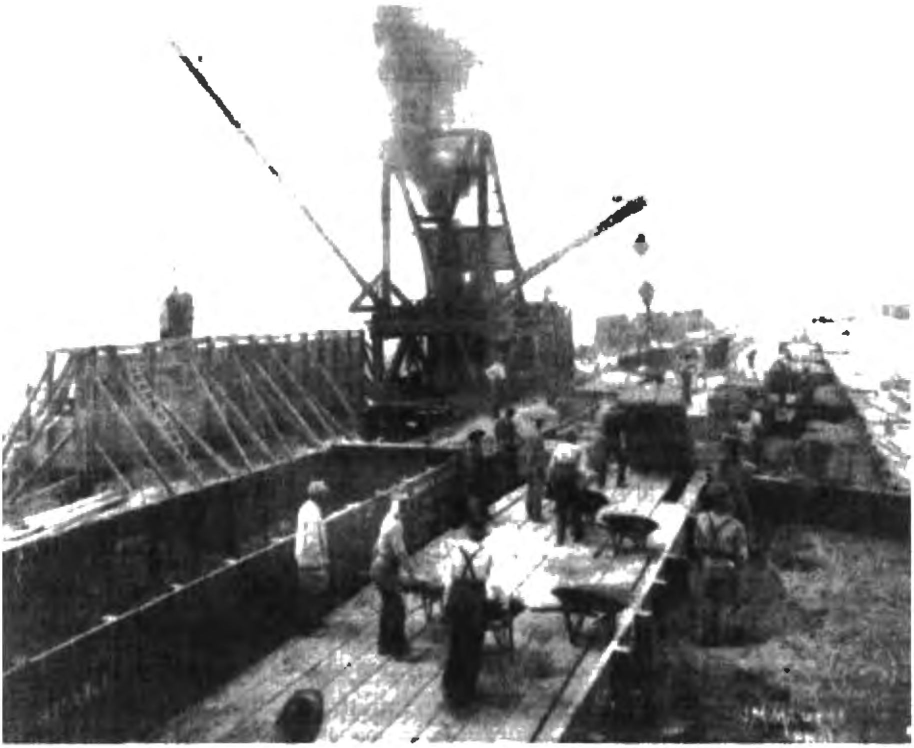
وكان ما حدث بعد ذلك إنجازًا هندسيًا يعد من أروع هذه الإنجازات في أوائل القرن العشرين[١٠] . وحتى يُحمل للداخل ما هو ثقيل من الماكينات ومواد البناء والبلاط أنشئت سكك حديدية مؤقتة وقنوات تمر بكل طول المدينة وعرضها. وكان هناك مبانٍ حجرية كبيرة مثل كنيسة سانت باتريك التي تزن نحو ٣٠٠٠ طن، ورُفعت هذه المباني فوق مئات من الروافع الهيدروليكية لبناء أساسات جديدة من تحتها. وقد رُفع بهذه الطريقة عدد من المباني يكاد يصل إلى ثلاثة آلاف. وفي نفس الوقت كان من الضروري

إعادة تحديد أماكن خطوط المياه والصرف. والخطوط الكهربائية، والشوارع، والمماشى الجانبية، والأشجار، والحدائق، وذلك كله بدون أن يستحيل على السكان أن يذهبوا لأشغالهم اليومية.

وبُنى حاجز بحرى من الخرسانة بطول الخليج، يبلغ اتساعه عند القاعدة ٤,٩ مترًا (١٦ قدمًا)، وعند القمة ١,٥ متر (٥ أقدام)، ويمتد بارتفاع ٥,٢ متر (١٧ قدمًا) فوق متوسط مستوى الجزر، وجُعل جانبه المواجه للبحر مقعرًا بحيث يجرف الأمواج لأعلى بدلاً من أن يسمح لها بأن تلقى بحملها عليه بكل قوتها. وعند جانب الحاجز المواجه للبحر غُطى الشاطئ بطابق من كسر الجرانيت لمسافة ٨.٢ متر (٢٧ قدمًا) حتى تمتص المزيد من الطاقة فى أى موجة كبيرة. ودُعم جانب المدينة بالرمال (شكل ٥ . ١٠) لتعطيها انحدارًا لطيفًا لأسفل إلى مستوى قمة الجدار. كان الحاجز البحرى فى أول الأمر بطول ٥ كيلو مترات (نحو ٣ أميال)، وقد مد بعدها بحيث يصل الآن طوله الإجمالى إلى ١٦,٥ كيلو مترًا (١٠,٠٤ ميل). واستغرق رفع المدينة وإكمال القسم الأول من الحاجز البحرى قرابة سبع سنوات.

برهن هذا المشروع الهندسى على فعاليته فى أعاصير عديدة، كان أولها فى عام ١٩٠٩، وذلك حتى قبل أن يكتمل الحاجز. واليوم، فإنه حتى المشاهد العارض يمكنه أن يلاحظ أنه فيما يلى الطرف الغربى من الحاجز، قد تآكل الشاطئ غير المحمى إلى داخل الأرض بنحو ٥٠ مترًا (١٦٠ قدمًا). على أنه أمام الحاجز، لم يعد هناك أى شاطئ على الإطلاق: فقط طبقة الكسر.

من الواضح أنه ليس من العملى اقتصاديًا حماية كل جزيرة حاجزية مسكونة بمشروع هندسى على نطاق ما حدث فى جالفستون، كما أن مجتمعات سكان شواطئ الاستجمام لن يسعد أفرادها بنتيجة كهذه: تدمير الشاطئ لإنقاذ البيوت. إن البناء على جزيرة حاجزية يعنى التعرض للمخاطر[١١]. فالأمواج ستأتى، والشواطئ سترحف، وفيضان مياه البحر سوف يغرق يومًا كل المنشآت الساحلية التى نبنيها فى هذه الأماكن. والمجازفة التى يقامر عليها بناة البيوت هناك، هى أنه من غير المرجح أن تضرب الأمواج المدمرة ضربتها سريعًا. ولكن مرة أخرى، فإنها ربما تفعل ذلك لا غير. وعلمنا الحديث يظل عاجزًا عجزًا يُرثى له عندما نستخدمه فى محاولة التنبؤ بما قد تخبئه لنا أمنا الطبيعة فى أكمامها أثناء مدى حياتنا.



شكل (٥ . ١٠) إنشاء الحاجز البحرى لجالفستون، أكتوبر ١٩٠٢، ومن خلف الحاجز تم
رفع المدينة كلها
لما يصل إلى ٣.٤ متر (١١ قدمًا).
(الصورة بإذن من مكتبة روزنبرج، جالفستون)

الهوامش

(١) معظم ما رويته هنا مأخوذ عن:

L. G. Billings, Some personal experiences with earthquakes, National Geographic, Jan. 1915, 57-67.

ولدى البحرية أيضًا سجلات وصور فوتوغرافية تتعلق بالحدث، ويمكن العثور على مقالات أقصر من مصادر عديدة أخرى، بما فى ذلك تلك المذكورة فى الهامش ٤ من هذا الفصل.

(٢) حدث بعدها بيومين، فى ١٥ أغسطس، أن زلزالاً آخر ضرب ضربته شمالاً فى بيرو والأكوادور وربما وصل ضحاياه إلى ٤٠٠٠٠ نسمة. وبعض المصادر لا تذكر إلا هذا الحدث الثانى، ومن الواضح أنه لم يتولد عنه موجة تسونامية كبيرة. وبيلينجز وهو يكتب بعد مرور سبعة وثلاثين عاماً على الحدث، يبدو أنه أيضًا قد أخطأ فى تاريخ مغامرته هو نفسه، فهو يذكر أنه ٨ أغسطس بينما تذكر مصادر هيئة الولايات المتحدة للمسح الساحلى والجيوديسى أنه ١٣ أغسطس. والقراء الذين يرغبون فى استكشاف المزيد من الأدبيات عن هذا الحدث ينبغى لهم أن يتنبهوا إلى أنه كان هناك حدثان جيوفيزيائيان منفصلان، وأنه قد يكون فى الأدبيات اختلافات فيما يتعلق بتاريخ أحدهما أو كليهما.

(٣) التعريف الرسمى بدرجة أكبر هو أن: الموجة اضطراب يحدث فيه أنه (١) عند كل مجموعة من الأحداث المكانية تكون إزاحة الوسط دالة للزمن و(٢) عند كل لحظة من الزمان تكون إزاحة الوسط دالة لإحداثياته المكانية.

(٤) W. Bascom, Waves and beaches (New York: Anchor, 1980).

(٥) المعاملات الرقمية فى هذه المعادلة وسابقتها ليست تعسفية وإنما تتعلق بعجلة الجاذبية ج التى لها قيمة مقننة بالوحدات الدولية هى ٩,٨٠٦٦٥ متر/ث. وقيمة ٣,١٣٢ هى $\sqrt{\text{ج}}$ و١,٢٤٩ هى $\sqrt{\text{ج}/٢}$ باى.

(٦) K. Lida, Magnitude, energy, and generation mechanics of tsunamis; Lida, On the estimation of tsunami energy, International Union of Geodesy and Geophysics Monograph no. 24 (Toulouse; France: IUGG, 1963), 7-18 and 167- 73.

(٧) E.R. Scidmore, The recent earthquake wave on the coast of Japan, National Geographic, Sept. 1896, 285-9.

(٨) R. Lachman, M. Tatsouka, & W. J. Bonk, Human behaviours during the tsunami of May, 1960, Science, 133 (1961), 1405-9.

W. J. McGee, The lessons of Galveston, National Geographic, Oct. 1900, 377-83. (٩)
Reasonably credible accounts of the disaster can also be found in many other publications, among them G. Carthwright, The big blow, Texas Monthly, Aug. 1990, 76-87.

A more detailed description of the engineering feat can be found in D. Walden, (١٠)
Raising Galveston, American Heritage of Invention and Technology, 5 (3) Winter 1990, 8-18.

For a further discussion of the effects of overdevelopment on barrier islands, see (١١)
S. Kemper, This beach boy Sings a song developers don't want to hear, Smithsonian Oct. 1992, 72-85. Also, K. Wallace & O. H. Pilkey, Jr., The beaches are moving: The drowning of America's shore line (Durham N. C.: Duke University Press, 1983).

الفصل السادس

الأرض تجيش

ألاسكا ، ١٩٦٤ وما قبلها

في الساعة ٣٦ : ٥ مساء يوم ٢٧ مارس عام ١٩٦٤، ارتج جنوب ألاسكا بتفجر هائل من الطاقة الزلزالية أدى إلى أن يغير تغييراً دائماً من شكل سطح الأرض في مساحة من ٢٠٠٠٠٠ كيلو متر مربع (٧٨٠٠٠ ميل مربع)، وهي منطقة أكبر كثيراً من كل ولاية فلوريدا. وارتفع سطح الأرض في بعض الأماكن بما بلغ ١٠ أمتار، وانخفض في أماكن أخرى بمترين، وتفتحت شقوق وشروخ هائلة خلال كل المنطقة. وفي نفس الوقت دفعت قوى ما تحت الأرض آلافاً من الأمتار المربعة من قاع البحر لترفعها فوق سطح البحر، فجعلت البرنقيلات(*) تجنح فوق اليابسة هي وغيرها من الكائنات البحرية وأرسلت موجات تسونامية مدمرة في سباق إلى هاواي وساحل كاليفورنيا. أما مدينة أنكوريج في ألاسكا فقد ضُربت بالذات ضربة عنيفة (شكل ٦ ، ١)، أحدثت تلفاً بالممتلكات يقدر بمئات الملايين من الدولارات على الرغم من أن مركز الزلزال السطحي كان على بعد ١٣٠ كيلو متراً (٨٠ ميلاً) إلى الشرق. وكان السبب في الكثير من الدمار الذي حل بمنشآت المدينة يرجع إلى الإسالة المفاجئة للتربة من تحت أساس المباني، وحدث لبعض البيوت التي كانت منتصبة فوق منحدرات أنها انزلقت لمسافة ٣٠٠ متر (ألف قدم) بعيداً عن موقعها الأصلي.

وبلغ عدد الموتى حسب القائمة الرسمية ١٣١، وهو عدد يتناقض مع كمية الطاقة الهائلة التي انطلقت في هذا الزلزال وقيست بمقدار ٨,٦ بمقياس ريختر: والحقيقة أن

(*) البرنقيل حيوان بحري قشري يعلق بالصخور (المترجم) .

هذا الحدث قد نتج عنه أكبر حجم كلى من الحركة الرأسية خلال قرن من القياس العلمى للزلازل[1]. ولحسن الحظ، فإن أغلب المنطقة المضروبة لم يكن مأهولاً إلا على نحو ضئيل، وكانت معظم منشآته من الخشب. وكما رأينا فى الفصل الثالث، فإن المبانى ذات الأطر الخشبية تكون لها مرونة كبيرة فى مواجهة الأحمال الديناميـة، وهكذا فإنها فى حدث عام ١٩٦٤ نجت عموماً لتظل باقية مادام ظل أساسها سليماً.



شكل (٦ ، ١) مدرسة فى أنكوريج بالاسكا، بعد زلزال ٢٧ مارس ١٩٦٤ الذى بلغ مرتبة ٨.٦ بمقياس ريختر. (الصورة بإذن من المركز القومى للبيانات الجيوفيزيائية)

وعلى الرغم من أن مراصد الزلازل سجلت الآلاف من هزات توابع الزلزال فى الشهور التالية، إلا أن أيًا من هذه الأحداث لم يكن جد خطير. وما لبثت قشرة الأرض فى ألاسكا أن استقرت، ولم تحدث أى هزة عنيفة أخرى فى الثلاثين سنة الأخيرة. على أن هناك أسباباً قوية، نظرية وكذلك تاريخية أيضاً تجعلنا نعتقد أن جنوب غرب ألاسكا هو والجزر الألوسية سيستمران فى التعرض لزلازل كبرى من آن لآخر إلى زمن غير محدد فى المستقبل.

بدأت التسجيلات المكتوبة لزلازل ألاسكا عام ١٧٣٧ مع حملة فيتوس بيرنج، حيث كتب أيضًا مؤرخ أحداث الحملة وهو مذهول وصفًا لموجة تسونامى كبيرة. وواصل الروس توثيق الهزات الأرضية طول القرن التالى أو ما يقرب، ولاحظوا وجود سلسلة عنيفة على وجه الخصوص من الزلازل والتفجرات البركانية فى الفترة من ٢٠ - ١٨٢٥ . اشترت الولايات المتحدة ألاسكا من روسيا فى عام ١٨٦٨، وعندها كانت هذه المنطقة الضخمة ذات تعداد رسمى لا يتجاوز ٣٢٩٩٦ فرداً من الأمريكيين المحليين و٤٣٠ فرداً أخرين. ولم تتزايد هذه الأعداد إلا ببطء شديد حتى أدى اكتشاف الذهب فى عام ١٨٩٨ إلى أن جذب تدفقًا من الأفراد بلغ عددهم فى تلك السنة وحدها ٣٠٠٠٠ ، واستقبلت مفاجآت كريهة عديدة هؤلاء المهاجرين الجدد، وكان من بين هذه المفاجآت ظاهرة الزلزال. وقد أبلغ الناجون من زلزال عام ١٨٩٩ الهائل أن الأرض ظلت تهتز لثلاث دقائق كاملة؛ وفى هذا الحدث نفسه ارتفع على نحو دائم جزء من ساحل خليج ديسينتشانتمنت بمقدار ١٤,٤ متراً (٤٧,٣ قدم)، وقد أُثبت هذا كرقم قياسى لوقوع إزاحة كهذه خلال كل الأزمنة المؤرخة، ومازال هذا الرقم قائمًا للآن. وعلى الرغم من أنه لم يكن هناك سوى عدد قليل نسبيًا من البشر الذين تأثروا بجيشان الأرض الهائل فى عام ١٨٩٩، إلا أن ما يقرب من ٢٠٠٠٠٠ فرد قد تأثروا مباشرة بزلزال عام ١٩٦٤ الذى بلغ مرتبة ٨.٦ ، ولو حدث اليوم زلزال بنفس الشدة فسينتج عنه حتمًا نكبة أقسى بالنسبة لتأثيره فى البشر.

وتسجيلات الزلازل متاحة عمومًا منذ ما بعد عام ١٩٠٢ بالتقريب، وهذا يسمح للعلماء بأن يقدروا مراتب الزلازل ويقارنوا فيما بينها بمقياس عددى متين إلى حد معقول. وقد حدثت زلازل كبرى فى الجزر الألوسية فى عامى ١٩٠٢ (مرتبة ٨,٢ ريختر) و١٩٠٦ (مرتبة عام ٨,٢)، وفى بحر بيرنج فى عام ١٩٨٣(مرتبة ٨,٧)، وجنوب ألاسكا فى عام ١٩٤٩ (مرتبة ٨,١)[٢]. وإذن فإن التاريخ وحده يطرح أنه فيما يُحتمل ستكون هناك فى المستقبل أحداث من هذا النوع فى المنطقة الجغرافية نفسها عمومًا. على أننا حتى نمضى فى طريقنا بما يتجاوز هذا النمط التاريخى، سنحتاج إلى أن نستكشف الآليات الجيوفيزيائية التى تكمن فى الأساس من الأمر وتنتج عنها الزلازل. دعنا نبدأ بنظرة عامة لما تعلّمه العلماء (حتى الآن) بشأن الكشف عن الزلازل وقياسها.

تاريخ موجز للسيسمولوجيا

(علم الزلازل)

عندما يحدث لمدينة استغرق بناؤها فيما يحتمل قروناً من الزمن أن تهتز حتى تخرَّ إلى الأرض خلال ثوان لا غير، فإن المؤرخين المعاصرين لذلك ينحون إلى الانصراف عن انشغالهم المعتاد بأصحاب السلطة من البشر، على الأقل لفترة تكفى لتوثيق أن هذا الحدث قد وقع. والروايات من هذا النوع، وإن كانت فى الغالب متناثرة كالشظايا، ترجع وراء إلى أقدم المؤرخين الإغريق والرومان. ومع سنوات القرن السابع عشر الأخيرة كان قلة من العلماء قد غربلوا هذه المصادر القديمة وأخذوا يجمعون قوائم عن الزلازل الموثقة؛ ويبدو أن أقدمها هى قائمة فينسترو مانياتى فى عام ١٦٨٨ وتتضمن واحداً وتسعين من الزلازل الكبرى التى وقعت فى الفترة من ٣٤ ق.م. حتى ١٦٨٧م ، وخلال القرنين التاليين نشر عشرة مؤرخين أو ما يقرب قوائمهم الخاصة بهم، وهى قوائم كثيراً ما كانت تختص بوضوح بمنطقة جغرافية معينة أو بفترة زمنية معينة (كان تؤرخ قائمة مثلاً ١١٨٦ هزة فى إيطاليا فى الفترة من ٨٣ - ١٧٨٦). ومع كل ما كان يحدث من تداخل بين هذه القوائم، فإنها كثيراً ما كانت تتناقض فى التفاصيل التى تتعلق بالأمر. وهناك عيب آخر يساوى ذلك أهمية وهو أن مدخلاتها كانت تعكس توزيعات السكان وقتها، والأماكن التى يتاح الوصول لها جغرافياً وسيكولوجية الهستريا الجماهيرية، أكثر مما كانت تصف أى شىء فيه ما يقرب لأن يكون قاعدة بيانات جيوفيزيائية موضوعية.

مع اختراع التلغراف فى عام ١٨٤٠، أصبح فى الإمكان أن تصل التقارير عن الزلازل بكفاءة أكبر كثيراً، وتنامت المعلومات بقدر هائل (وكذلك سوء المعلومات). وصنف ألكسيس بيرى كاتالوجاً فيه ما يزيد عن ٢١٠٠٠ زلزال فى السنوات بين ٤٣ - ١٨٧١، ووصف روبرت ماليت (بمعاييره الأكثر حصافة) ٦٨٣١ حدثاً فى الفترة من ١٦٠٦ ق.م. حتى ١٨٥٠ ميلادية، وذكر جوسيبى ميرسالى (١٨٨٣) قائمة بما يزيد عن ٥٠٠٠ زلزال من ١٤٥٠ ق.م. حتى ١٨٨١ ميلادية وذلك فى إيطاليا وحدها؛ وأنشأ كارل فوتشس (١٨٨٦) قائمة ضخمة تحوى تقريباً ١٠٠٠٠ مدخل؛ ووصف جون ميلن

(١٨٩٥) ٨٣٣١ زلزالاً سجلت في اليابان وحدها. على أنه فيما يبدو فإن جان بابتست برنارد قد سجل الرقم القياسي لمثابرة رجل واحد على هذا النوع من البحث، فظل يعمل لواحد وعشرين عامًا في مشروع بحثه، وبحلول عام ١٩٠٦ كان قد جمع قائمة بالزلازل من أرجاء العالم كله تتضمن ١٧١٤٣٤ مدخلاً!

لم يكن هناك سوى قلة من هذه القوائم المبكرة لها أهميتها الدائمة، إن كان لأى منها ذلك[٣]. على أن هذه القوائم بسبب عدم اتساقها، جعلت من الواضح أن هناك حاجة ملحة لمقياس موحد لتوصيف شدة الزلزال. وفي ١٨٨٣، أظهر جوسيبي ميرسالي كفاءة في هذا الشأن (وهو نفسه أحد واضعي قوائم الزلازل) فطرح مقياس ميرسالي، إلا أنه كان نظامًا يعتمد على وصف ملاحظات ذاتية نوعًا. واتخذ الآخرون هذا المقياس، ولكنهم قبل أن يمر زمن طويل أخذوا يعبثون بمعاييره. وتم تعديل المقياس رسميًا في ١٩١٢، ثم مرة أخرى في ١٩٣١، وهذا الشكل الأخير هو الذي لا يزال يستخدم أحيانًا للآن. ويعرض جدول (٦ ، ١) نسخة مختصرة لقياس ميرسالي المعدل لشدة الزلزال.

ومقياس ميرسالي له جاذبيته الرئيسية المستمرة في أنه لا يعتمد بالمرة على استخدام الأجهزة العلمية وإنما يعتمد على المشاهدات البشرية المعتادة. وأى فرد يكون في استطاعته صنع وتقييم المشاهدات المطلوبة يمكنه أن يحدد للزلزال درجة شدة من مقياس ميرسالي. وعند درجات الشدة العليا، لا يحتاج المرء حتى لأن يخبر الحدث بنفسه حتى يحدد رقم شدته، ذلك أن المعايير المتعلقة بذلك يمكن إرساؤها من خلال دراسة ما تخلف من الدمار.

على أن مقياس ميرسالي له بالفعل عيوبه :

١- إنه ينطبق فقط على المناطق المأهولة (وهي حقيقة تصبح واضحة بمجرد أن نقرأ المعايير)؛

٢ - لا يتيح وجود كسور في درجة الشدة (والحقيقة أنه يستخدم الأرقام الرومانية، وبالتالي فما من أحد يحتمل أن تغريه هذه القضية)؛ و

٣- لا يعطى المقياس أى إشارة عن قوة "مصدر" الزلزال (انخفاض درجة الشدة بمقياس ميرسالى لا يميز بين زلزال ضعيف قريب وزلزال قوى على مسافة أبعد كثيراً).

ومع ذلك، فإنه مع البدء فى تطبيق أرقام مقياس ميرسالى للزلازل أخذت الأنماط تنبثق من ذلك الخليط من القوائم. وقبل عام ١٩٢٠ بزمن له قدره، أصبح من الجلى أن مناطق الأرض الأكثر في عدم استقرارها سيسمولوجياً تصاحبها ملامح فى سطحها حيث تكون القشرة الأرضية مغضنة لأقصى درجة - كما مثلاً فى الجبال والانخسافات (سواء فوق سطح البحر أم أسفله). وبالإضافة فإن هناك حزامين عريضين على الكرة الأرضية مسئولان معًا عما يزيد عن ٩٠٪ من الزلازل المهمة: وأحد هذين الحزامين يحيط بالمحيط الهادى، والآخر يمتد فى قوس أقل عمقًا من إندونيسيا، فجبال الهيملايا، حتى البحر الأبيض المتوسط.

٦ . ١ مقياس ميرسالي المعدل لدرجة شدة الزلزال ، ملخص موجز

الشدة	الوصف
I	لا يحس به البشر
II	يحس به الأفراد المقيمون في الأدوار العليا
III	تتأرجح الأشياء المعلقة ، قد لا يتم إدراكه كزلزال
IV	تهتز السيارات الواقفة . قعقعة النوافذ والأطباق والأبواب . ربما يحدث صرير من الجدران ذات الأطر الخشبية .
V	يحس به في الخلاء . يستيقظ النائمون . السوائل تضطرب ، الصور تتحرك وتتأرجح الأبواب .
VI	يحس به الجميع ، يصعب المشي ، تتكسر النوافذ والأواني الزجاجية . يتزحزح الأثاث أو ينقلب ، تتشقق المباني الضعيفة من الجص أو الحجر . ربما تدق أجراس الكنائس والمدارس .
VII	يصعب الوقوف ، يلحظه السائقون ، يتحطم الأثاث . ربما تتهاوى المداخن الضعيفة ومباني الطوب غير المقواة . أمواج في البرك
VIII	يتأثر توجيه السيارات ، انهيار جزئي في المنشآت الحجرية غير المقواة . البيوت ذات الأطر قد تتزحزح من أساسها . تغيرات في تدفق مياه الآبار والينابيع ، شقوق في الأرض الرطبة وعلى المنحدرات العميقة .
IX	ذعر عام . تهدم المباني الحجرية غير المقواة ، تلف في المباني الحجرية المقواة تكسر الأنابيب تحت الأرض ، تلف شديد في الخزانات . شقوق واضحة في الأرض .
X	تهدم معظم المنشآت الحجرية وذات الأطر . تلف في السدود والخزانات . انزلاقات أرضية كبيرة . قد يحدث انحناء لبعض قضبان السكك الحديدية
XI	تنحني القضبان بشدة . تتوقف عن العمل تماماً خطوط الأنابيب تحت الأرض .
XII	دمار كامل تقريبي، يُرمى بالأشياء في الهواء، تتزحزح من مكانها كتل الصخر الضخمة .

ملحوظة: بالنسبة لنسخة المقياس الأصلية لعام ١٩٣١، انظر:

H. O. Wood & F. Neumann. Modified Mercalli Intensity Scale of 1931, Seismological Society of American Bulletin, 53 (5), 976 - 87. For the 1956 version, see C.F. Richter, Elementary seismology (San Francisco: Freeman, 1958), 137 - 8.

كان العلماء أثناء ذلك يبحثون عن طريقة أكثر "علمية" لقياس قوة الزلزال - طريقة ترتبط بتسجيلات آلة غير متحيزة. على أن تصميم أى آلة يتطلب أولاً أن يكون لدينا بعض فهم كمى للظاهرة التى نحاول قياسها. وواضح أن هذا كالطريق المسدود، ذلك أننا إن لم نكن نعرف بالفعل شيئًا عن الخصائص التى تتعلق بالظاهرة، فلن نستطيع بناء آلة تتنبأ عن نفس الخصائص التى نحتاج لأن نعرف شأنها. ولما كانت الزلازل بنفس طبيعتها تحدث فى تقطع ولا يمكن التنبؤ بها، فإن التقدم فى تصميم آلة مرجفة(*) الزلازل أو السيسموجراف كان يحدث بطيئًا.

ومن الظاهر أن أول جهاز صمم خصيصًا لتسجيل الزلازل بُنى فى الصين ١٣٢ ميلادية. وكان يتكون من دائرة من ثمانية تنينات منحوتة من البرونز، يمسك كل منها بكرة معدنية في فمه، وتحتها مباشرة دائرة مناظرة من ضفادع برونزية مفتوحة الأفواه. والزلزال القوى يجعل التنين يسقط الكرة فى فم الضفدعة، والضفدعة المعينة يتوقع أنها تدل على اتجاه مصدر الزلزال (وقد ثبت فى النهاية أن هذا فرض غير صحيح). كان هذا الجهاز عملاً فنيًا جميلاً ولكنه كأداة علمية مشكوك في أمره. ذلك أن أى زلزال قوى بالدرجة الكافية لأن يتم تسجيله بهذه الطريقة سيكون بالفعل جد ظاهر لأى فرد، وكانت الآلة عاجزة عن توفير أى معلومات إضافية عن هذا الحدث.

وفى أوائل سنوات القرن الثامن عشر أصبح من الشائع المعروف أن الزلازل القوية تجعل أسطح المياه مضطربة في البرك والبحيرات، واستُغلت هذه الظاهرة فى العديد من الآلات المبكرة من مهزاز(**) الزلزال (سيسموسكوب). ومعظم هذه الأجهزة كانت تستخدم بعض تنويع على استعمال وعاء من الزئبق السائل الذى ينسكب من الوعاء أو على الأقل يترجرج فيما حوله تاركًا سجلاً لحركته. ولم يكن أى من هذه الأجهزة حساسًا بما يكفى لأن تكون له قيمة علمية كبيرة.

وكان ثمة وسيلة أكثر فائدة وهى استخدام البندول. وقد لوحظ منذ زمن طويل أن الأجراس فى أبراج الكنائس كثيرًا ما ترن تلقائيًا أثناء الزلزال القوى وأن بندول الساعة كثيرًا ما يتوقف. وابتداء من عام ١٨٤١، أجرى جيمس د. فوربس تجارب على

(*) المرجفة جهاز رسم الزلزال أو خواصه (المترجم) .

(**) المهزاز أداة تسجيل حدوث الزلزال ومدته فقط .(المترجم) .

تجهيزات شتى بالبندول، ثم بنى فى النهاية "مهزازًا" (سيسموسكوب) يتكون من قلم مربوط ببندول مقلوب، سجل بنجاح وقوع زلزالين. ولسوء الحظ فإنه فشل فى تسجيل الغالبية من عشرات أخرى من الزلازل التى تم الإحساس بها فى المنطقة التى أقيم بها الجهاز[٤]. أثناء ذلك كان علماء الجيوفيزياء الذين يحاولون قياس التأثيرات الرهيفة لجاذبية الشمس والقمر على الأرض، يحرزون تقدمًا له قدره فى استعمال آلات تستخدم بندولاً أثقل، وكثيرًا ما كانوا يجدون (بما يزعجهم) أن هذه الآلات تصيبها نوبات تشنج برجفة غير محكومة أثناء الزلازل الصغرى. وكشف فحص الآلات عن كثب عن أن البندول الثقيل نفسه لم يكن يهتز على الإطلاق: وبدلاً من ذلك كانت الآلات تسجل تأثير ذبذبات الأرض فى البندول، الذى كان بسبب قصوره الذاتى يظل ساكنًا تمامًا.

فى إيطاليا عام ١٨٧٥ جمع فيليبو سيتشى هذه الأفكار معًا وبنى أول مرجفة "سيسموجراف" ناجحة. واستخدم الجهاز بندولين ثقيلين يعلقان بطريقة معينة بحيث يكشف أحدهما عن الحركة فى اتجاه الشمال - الجنوب ويكشف الآخر عن الحركة فى اتجاه الشرق - الغرب (ومازالت هذه الاتجاهات مستخدمة للآن). وفى الوقت نفسه، علقت كتلة ثالثة على زنبرك بما يتيح قياس العنصر الرأسى فى حركة الزلزال. وخلال السنوات القليلة التالية أنجز جون ميلن (وهو يعمل فى طوكيو) تحسينات لها قدرها فى حساسية هذه الآلة. وتاريخ التسجيلات السيسموجرافية المفيدة لحركة الأرض يبدأ بتسجيل زلزال فى اليابان فى ٣ نوفمبر عام ١٨٨٠ ، وعندما حل زلزال عام ١٩٠٦ فى سان فرانسيسكو الذى وصفناه فى الفصل الثالث، أمكن للعلماء مقارنة رسوم مرجفات عديدة لحركة الأرض سُجلت فى الوقت نفسه فى عدد من المراصد فى أجزاء مختلفة من العالم.

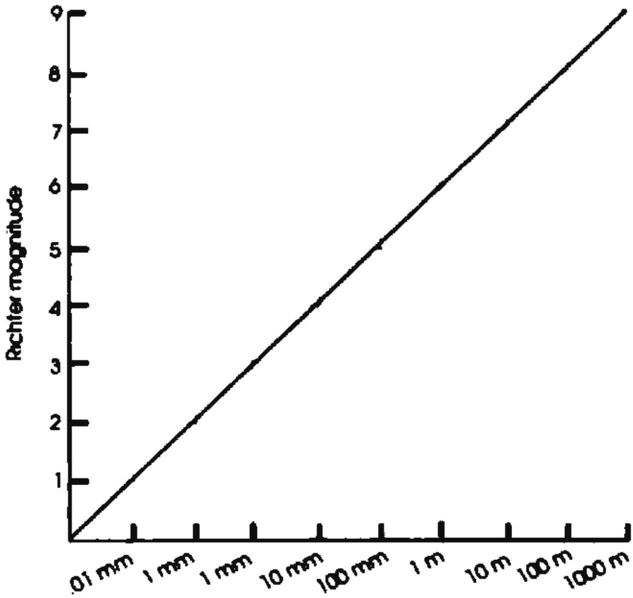
ومنذ ذلك الوقت أُجريت تحسينات كثيرة سواء من حيث الحساسية أو طريقة تسجيل البيانات، وكمثل ، فإن مخرجات طابع الكمبيوتر قد حلت عمومًا مكان ما سبقها من قبل من تسجيلات لخرائط على شريط. والكثير من المرجفات الحديثة لم تعد بعد تقيس حركة الأرض منسوبة إلى كتلة معلقة ذات قصور ذاتى، وبدلاً من ذلك

فإنها تستخدم أداة استشعار ألكترونية لتقيس مباشرة التحرف الإجهادى(*) strain deformation للأرض، وذلك عـادة بين نقطتـين فى نفق طويل تحت الأرض. وبهـذه الطريقة يمكن قياس حركات فى القشرة تبلغ من الصغر أنها تقاس بـ ٠,٠٠١ ملليمتر على أبعاد تبلغ حوالى ٢٥ متراً. على أنه مـازالت هناك مشاكل باقية. فحتى فى يومنا هذا من الصعب إجراء قياسات يُعتمد عليها لموجات الزلزال التى لها فترة طويلة جداً (فترات من ٣٠ ث أو أطول) وبالإضافة، عندما يكون الزلزال قوياً جداً فإنه يحدث تشبعًا فى أقصى الأجهزة حساسية، بنفس ما يحدث لو أنك حاولت وزن سيارة فوق ميزان حمام. وكنتيجة لذلك، فإن المراصد السيسموجرافية تحتاج إلى الاحتفاظ بمجموعة كاملة من الأجهزة تعمل باستمرار، بعضها للحركات الضعيفة وبعضها الآخر للحركات القوية .

أما مقياس ميرسالى للشدة فقد ظل يُستخدم فى أحد أشكاله الثلاثة الرئيسية استخداماً يكاد يكون شاملاً طيلة ما يقرب من خمسين سنة. على أنه مع تقدم صناعة الآلات، تحسنت التوقعات المأمولة لربط حجم الزلزال بالتسجيلات السيسموجرافية الفعلية لحركة الأرض. وبحلول ١٩٣٠، أمكن الجمع بين البيانات السيسموجرافية من مختلف المراصد لتحدد تحديداً دقيقًا المصادر الجيولوجية لمعظم الزلازل. أما ما تبقى فهو إنشاء قياس موضوعى "للمرتبة" المطلقة للزلزال أو قوة مصدره .

وفى ١٩٣٥ أنشأ تشارلز ف. ريختر طريقة ووفق عليها بحماس ومعها مقياس رقمى لتحديد مراتب الزلزال على مقياسه الريخترى. وتتحدد مرتبة ريختر للزلزال بقراءة الحد الأقصى لحركة الأرض التى تسجلها المرجفة مع تعديل هذه القيمة لتعكس مسافة بعد "مقننة" عن المصدر (١٠٠ كم)، ومع التصحيح اللازم بالنسبة لأى خواص معينة للآلة المستخدمة بالذات، ثم استخدام معادلة رياضية لإرجاع النتيجة إلى مقياس رقمى لوغاريتمى. وشكل (٦ ، ٢) يبين العلاقة الأساسية فى شكل رسم بيانى. ومقياس ريختر ليس له قمة أو قاع إلا أنه يمكن النظر إليه عمومًا على أنه يمتد من الصفر إلى

(*) التحرف الإجهادى : تحرف أو تشوه فى الطول أو الحجم بتأثير إجهاد (المترجم) .



معدل الحركة الأرضية مع التعديل

شكل (٦.٢) مقياس ريختر مرتبة الزلزال حسب الحركة الأرضية المسجلة سيسموجرافيًا، مقاسة بالنسبة لمسافة مقننة ببعد مائة كيلو متر عن المصدر

التسعة. وكل زيادة بواحد على هذا المقياس تمثل عاملاً من ١٠ أضعاف لمدى حركة الأرض، والزيادة باثنين تمثل عامل مضاعفة من ١٠ × ١٠ أو ١٠٠ كيلو متر وكمثل فإنه على بعد ١٠٠ كيلو متر من مصدر الزلزال، ستجد أن زلزالاً بمرتبة ٨,٣ سيولد ١٠ أضعاف مدى هزة زلزال من مرتبة ٧,٣ وبالمثل فإن زلزالاً من مرتبة ٥.٦ سيهز الأرض بمقدار ١/١٠٠ من مدى الهزة التي تكون نتيجة حدث بمرتبة ٧,٦. وهذه المقارنات لا تنطبق تكنيكيًا إلا على المسافة المقننة ببعد مائة كيلو متر عن المصدر، وعلى الرغم من ذلك إلا أنها حتى وقت جد قريب كانت تعامل عادة على أنها مقياس للطاقة المنطلقة عند المصدر نفسه.

الزلازل كما ثبت في النهاية، يمكن أن تختلف اختلافًا كبيراً في جوانب كثيرة: فالمصدر الفيزيقي قد يكون عميقًا أو ضحلاً، وقد يكون المصدر انزلاقًا كبيرًا في منطقة مركزة لصدع، أو انزلاقًا أصغر عبر منطقة أكثر امتداداً؛ والمصدر قد يطلق أجزاء أكبر من طاقته في موجات طولها أقصر أو أطول؛ وهلم جرًا. ولهذا السبب سرعان

ما أصبح واضحًا أن القياس لمرة واحدة بمقياس ريختر لا يعطي مقارنة صحيحة للطاقة التي تنطلق في كل أنواع الزلازل. وعلى الرغم من أنه قد ظل من الممارسات الشائعة استخدام "مرتبة لريختر" (تسمى م ل)) (M L) للزلازل المتوسطة المحلية، إلا أن المقياس الأفضل للزلازل الأكبر هو فيما يبدو مرتبة العزم، م ع (M w) التي تتطلب سلسلة من القياسات السيسموجرافية المختلفة وحسابات أكثر تعقداً إلى حد ما. وهذان القياسان كثيرًا ما يحدث ألا يتفقا، وكمثل ، فإن زلزال ألاسكا عام ١٩٦٤ كانت مرتبته م ل = ٨,٦ بينما مرتبته م ع = ٩,٢ وبالإضافة، فإن المراصد السيسموجرافية المختلفة كثيراً ما تسجل درجات م ل أو م ع مختلفة اختلافًا هينًا بالنسبة لنفس الزلزال. ومن الواضح الآن أن التناسق التام في تحديد مراتب الكوارث، هو فيما يحتمل هدف غير واقعي، ذلك أنه عندما يكون متأصلاً في الظاهرة الطبيعية نفسها أنها مشوشة، ولا تقبل التكرار، لا يمكن أن نتوقع وجود أي حيل رياضية يمكن بها إجبار كل البيانات على الاتفاق .

وفي الوقت الذي كانت تحدث فيه كل هذه التطورات في قياس الزلازل، توصل علماء الزلازل أيضًا إلى تقدم له قدره في رسم خرائط الأرض من داخلها ، وذلك بتحليل الطريقة التي تنتقل بها الموجات الزلزالية بين الأجزاء البعيدة من الكرة الأرضية. وساعدت هذه الأبحاث على ترسيخ نظرية تكتونيات(*) الألواح التي ستناقش في القسم التالي، وقد توطدت هذه النظرية على نحو معقول في أوائل الستينيات ، وفسرت السبب في أن الزلازل تكون في بعض المناطق أكثر شيوعًا عما في غيرها. وفي الوقت نفسه تقريبًا، أخذ الباحثون يطرحون نظريات أكثر تفصيلاً عن الميكانزمات التي تنتج عنها الزلازل. وفي ١٩٦٢ اتخذ علماء الزلازل اليابانيون التنبؤ بالزلزال كهدف رسمي لهم، وفي ١٩٧٧ صدرت في الولايات المتحدة لائحة الإقلال من مخاطر الزلزال، وقد أُثبت فيها التنبؤ بالزلزال كهدف رسمي لأبحاث علم الزلازل التي ترعاها حكومة الولايات المتحدة. وحتى الآن فإن ما حدث من تقدم نحو هذا الهدف للتنبؤ بزمن

(*) التكتونيكا أو التكتونية فرع الجيولوجيا الذي يدرس المعالم التركيبية الكبرى للأرض وأسبابها (المترجم) .

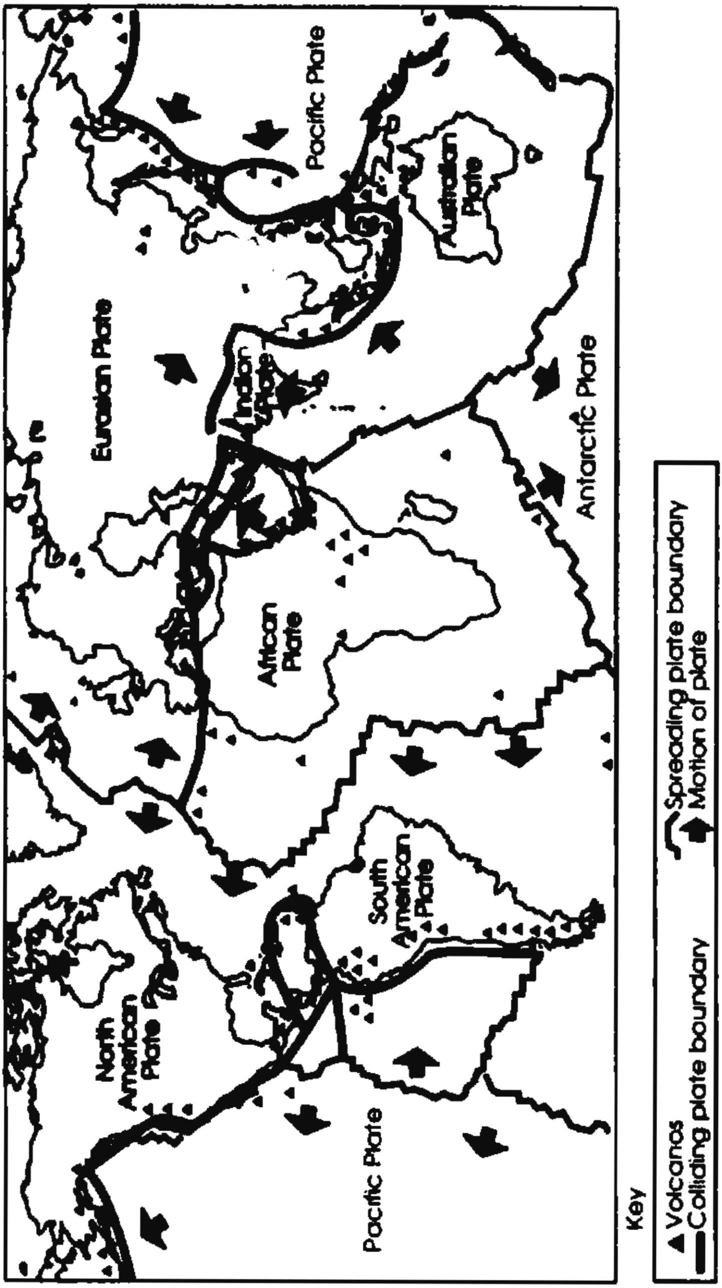
الزلزال وموقعه وحجمه هو مما يعد ، فى أحسن أحواله ، مخيبا للآمال، ومع ذلك فإن علم الزلازل مازال علمًا صغير السن جداً، والزمن وحده هو الذى سيخبرنا إلى أين ستقودنا أبحاث علم الزلازل المتواصلة.

آليات الزلزال

يبلغ نصف قطر الأرض ٦٣٧٨ كيلو متراً (٣٩٦٤ ميلاً)، إلا أن قشرتها الصلبة تمتد لأسفل مسافة تبلغ فحسب ٢٥ - ٦٠ كيلو متراً تحت القارات، وإلى مجرد ٤ - ٨ كيلو مترات تحت المحيطات العميقة. وبكلمات أخرى فإن الأرض الصلبة التى ننفق نحن البشر حياتنا من فوقها تقدر بأقل من ١٪ من نصف قطر الأرض. ماذا يوجد أسفل الغلاف القشرى الرفيع؟ هناك منطقة تسمى "الوشاح" تمتد من قاع القشرة إلى عمق نحو ٢٨٨٥ كيلو متراً ، والوشاح له فى أماكن بنية داخلية معقدة، خاصة تحت مناطق سطح الأرض التى لها أقصى نشاط زلزالى. وعبر الفترات الزمنية القصيرة نجد أن معظم وشاح الأرض يسلك سلوك المواد الصلبة، ولكنه عبر امتدادات الزمن الجيولوجى ينساب ببطء وكأنه كتلة هائلة من معجون. وعلى مسافة أعمق من ذلك يوجد لب الأرض، وهو سائل، على الأقل فى أعلى ٢٢٠٠ كيلو متر منه.

ونتيجة هذه اللزوجة لباطن الأرض، فإن كتل اليابسة الكبيرة بالأرض لا تلازم مكانها للأبد. إن قشرة الأرض ليست من بنية واحدة موحدة، وهى بالأحرى مجموعة من ألواح للقشرة محددة جيداً يمر أحدها طاحنًا عبر الآخر، وأحدها من تحت الآخر أو من فوقه، وهى فى أماكن منها يتراجع أحدها بعيداً عن الآخر. وشكل (٦ ، ٣) يوضح الألواح الرئيسية لقشرة الأرض. ومعظم الزلازل والبراكين تحدث بالقرب من الحدود بين هذه الألواح، وهذا أمر من الواضح أنه أبعد من أن يكون صدفة. والنظرية التى تلتمس تفسير النشاط الزلزالى والبركانى على هذا الأساس يشار إليها بأنها "نظرية تكتونية الألواح".

عند النظر إلى شكل (٦ ، ٣) سنلاحظ فى التو أن حدود الألواح لاتناظر بدقة الخطوط الخارجية للقارات. فشمال الهند مثلاً هو الحد داخل الأرض بين اللوح الهند – أسترالى الذى يتحرك للشمال الشرقى واللوح الأوراسى الذى يتحرك للجنوب الشرقى؛ وهناك نجد ذلك البروز العظيم من الأرض لأعلى الذى يسمى جبال الهيملايا، وفى الشمال مباشرة منها توجد منطقة فى الصين تتعرض لزلازل مدمرة متكررة[٥]. وسنرى بطول الساحل الغربى لأمريكا الجنوبية حداً آخر للاصطدام بين الألواح التى لها حركات متعارضة، ونتيجة السحق هنا هى جبال الإنديز، التى يصاحب نموها المستمر زلازل وبراكين عديدة. وفى الوقت نفسه فإن حركة اللوح الباسيفيكى تجاه الشمال الغربى تعمل بمثابة إسفين عملاق يرفع من جنوب ألاسكا والجزر الألوسية لأعلى، وكثيراً ما يكون ذلك على نحو حاد كارثى – كما حدث فى عام ١٩٦٤ .



شكل (٦ . ٣) الألواح الرئيسية لقشرة الأرض ومناطق النشاط الزلزالي والبركاني



شكل (٦ ٤) حدثت نقلة أفقية لمسافة ٣.٢٥٨ متراً على صدع موتاجوا فى جواتيمالا أثناء زلزال ٤ فبراير ١٩٧٦ الذى بلغت مرتبته ٧,٥ ريختر. والوتد إلى اليمين يدل على الموضع الأصلى لخط الأشجار التى على اليسار. قتل الزلزال ٢٣٠٠٠ نسمة.
(الصورة بإذن من المركز القومى للبيانات الجيوفيزانية)

كثيراً ما تكون الحدود بين الألواح مرئية على سطح الأرض. وكمثل ، فإننا نرى فى الصورة الفوتوغرافية فى شكل (٦ ، ٤) خطًا من الأشجار فى جواتيمالا انزاح فجأة أفقيًا لمسافة من نحو ٣,٢٥ متر (١٠,٧ قدم) أثناء زلزال فى ٤ فبراير ١٩٧٦ ، وقد أدى هذا الزلزال إلى قتل ٢٣٠٠٠ فرد وإصابة ما يقرب من ٧٦٠٠٠ ، ونتج عنه تلف فى الممتلكات يبلغ على الأقل ١,١ بليون دولار. وخط الانزلاق المبين فى الصورة هو فى الواقع جزء من صدع موتاجوا الذى يشكل الحد بين اللوح الأمريكى الشمالى واللوح الكاريبى.

صدع موتاجوا أحد الأمثلة لما يسمى "صدع المضرب - المنزلق"، حيث يتحرك اللوح عند أحد جانبى الحد أفقيًا بالنسبة للوح الذى على الجانب الآخر. ومن الناحية الأخرى، إذا اندفع أحد الألواح من فوق لوح ثان أو من تحته، فإن الحد يشار إليه بأنه صدع الميل - المنزلق "، والنتيجة تكون أحيانًا مرئية كجرف عمودى على السطح. ومن

الممكن أيضًا للوحين أن يتحركا بعيدًا أحدهما عن الآخر، وفي هذه الحالة فإن الحد يظهر عند السطح إما كوادي خسف (يكون عادة تحت المحيط) أو كمنطقة لنشاط بركاني خسفي (كما في أيسلندا).

وبالطبع فإن علماء الأرض لهم تصنيفات أخرى أكثر رهافة، وليس فيها ما هو أرسطي بمعنى أن يكون بصورة إما - أو. وصدوع المضرب - المنزلق كثيرًا ما يصحبها تحرك من نوع الميل - المنزلق، والخسوفات قد تصحب تحرك من نوع المضرب - المنزلق. وعلى الرغم من أننا نحن البشر نجد هذه التصنيفات مفيدة في محاولة تفهم معنى تركب الطبيعة المحير، إلا أننا ينبغي ألا نخدع قط أنفسنا بتوهم أن التصنيفات "هي" الحقيقة. وبهذا القول، فإني سأعفي القارئ من الاستطراد المفرط في تسميات الصدوع.

والنقطة المهمة هي: هناك أماكن حيث الألواح القشرية المتقاطعة تزحف زحفًا ناعمًا أحدها عبر الآخر عند خطوط الصدوع، وهناك أماكن أخرى (تكون حتى على نفس الصدع) حيث تظل الألواح منحبسة لعقود أو حتى قرون من السنين بينما يتزايد الإجهاد الداخلي. وثمة مصنع للخمور يفرشح بالفعل على صدع سان أندرياس قرب هوليستر في كاليفورنيا. وتتفتح الشقوق باطراد في هذه المنشأة هي والمجرور المجاور بمعدل سرعة متوسطه ١,٥ سنتيمتر (بوصة واحدة) في السنة. وفي الوقت نفسه، هناك أجزاء أخرى من صدع سان أندرياس ظلت منحبسة لعقود من السنين. وثمة دليل غير مباشر يطرح أن هناك صدوعًا أخرى في كاليفورنيا لم تنزلق طيلة قرون عديدة - والحقيقة أن هذا قد استمر زمنًا طويلاً حتى أن قوى التاكل الطبيعية قد أدت منذ زمن إلى محو أي دليل على السطح بأن هناك حتى أي وجود للصدوع. وهناك أدلة على أن صدعًا من هذا النوع المنحبس منذ زمن طويل ربما يمر مباشرة أسفل وسط مدينة لوس أنجلوس.

ومن الناحية النظرية، لو أن كل ألواح قشرة الأرض انزلقت بنعومة كل منها إزاء الآخر، لن تكون هناك زلازل تصاحب الصدوع الجيولوجية (وإن كان هناك قلة ستبقى

مرتبطة بالبراكين). وتنتج معظم الزلازل من تأثير ربط احتكاكى يمنع القشرة من التحرك حركة ناعمة بطول قطاع من أحد الصدوع. وعندما تتزايد الإجهادات الداخلية فى أحد الصدوع إلى الحد الذى يتجاوز فيه القوى الحابسة له، تقفز القشرة فجأة متحركة، مثل زنبرك ساعة مكسورة. والنتيجة هى زلزال.

الزلازل إذن فيما يبدو هى طريقة أمنا الطبيعة فى ترييح الإجهاد التكتونى. وكلما كانت هزة الزلزال أكبر كان الإجهاد الذى يُراح أعظم، وأصبح الزمن الذى ينبغى استغراقه لتزايد الإجهاد ثانية إلى نفس المستوى زمنًا أطول. وهذا هو جوهر "نظرية الفجوة الزلزالية "، التى تقرر أن ١- الزلازل القوية غير محتملة فى المناطق التى تشيع فيها الزلازل الضعيفة، و ٢ - كلما طالت فترة السكون بين الزلازل، يكون الزلزال عندما ينطلق بالفعل فى النهاية زلزالاً أقوى.

بُذلت فى العقود القليلة الماضية جهود باسلة لترجمة نظرية الفجوة الزلزالية إلى أداة رياضية للتنبؤ بالزلازل. وفيما يبدو حتى الآن فإن الإحصائيات قد نجحت، على الأقل على وجه التقريب، بالنسبة للزلازل النادرة نسبيًا التى تبلغ مرتبتها ٨ تقريبًا كل ٨٠ إلى ٩٠ سنة). ولسوء الحظ فإن نظرية الفجوة الزلزالية ظلت حتى الآن وفيها عمومًا تضارب فيما يتعلق بصنع تنبؤات إحصائية للزلازل ذات المرتبة الأقل، وهى الزلازل التى تسبب تراكميًا معظم الدمار فى أرجاء العالم. ويلخص جدول (٦ ، ٢) التكرار النسبى للزلازل ذات مراتب ريختر المختلفة. والزلزال من مرتبة ٧ يمكن أن يسبب تلفًا كبيرًا للممتلكات بل وحتى وفاة عدد له قدره من الأفراد، وإن كان مع ذلك يفشل فى ترييح الإجهادات الداخلية للأرض بالقدر الكافى لأن يجعل من غير المرجح وقوع هزة متابعة من نفس المرتبة. وحتى الزلازل التى تنخفض مرتبتها إلى ٦ بمقياس ريختر تكون أحيانا زلازل .

جدول ٦ .٢ العدد التقريبي للزلازل في كل سنة ، في كل أرجاء العالم التي تتجاوز المراتب المذكورة

مرتبة ريختر	العدد الذي يتجاوز هذه المرتبة
٨	٢ - ٣
٧	٢٠
٦	١٠٠
٥	٣٠٠٠
٤	١٥٠٠٠
٣	١٠٠٠٠٠

مدمرة (جدول ٦، ٣). ومن المنظور البشرى إذن، هناك اهتمام له قدره بتعلم المزيد عن الهزات الأرضية ذات المراتب الأدنى وهى الزلازل الأكثر تكرراً والأكثر تدميراً بالتراكم.

وإحدى الصعوبات هى أن الحدود بين ألواح القشرة الأرضية كثيراً ما تتكسر إلى شبكة واسعة من صدوع صغرى تتقاطع مع خطوط الصدوع الكبرى. وعندما يؤدى زلزال إلى ترييح الإجهاد فى أى واحد من هذه الصدوع، فإنه قد يكدس إجهاداً إضافيًا على صدع آخر فى الشبكة. وبهذه الطريقة (وفى تعارض مع نظرية الفجوة الزلزالية)، فإن سلسلة من الزلازل الصغيرة يمكن بالفعل أن "تزيد" أحيانًا من احتمال أن يتبع ذلك هزة كبيرة فى نفس المنطقة عمومًا. ومما يزيد الأمور صعوبة حقيقة أن بعض الصدوع تسرى عميقًا فى وشاح الأرض، حيث يوجد ضغط هائل يجعلها أكثر عرضة للانحباس. وجدران أحد الصدوع ، وهى على مقربة من السطح ، قد ينزلق أحدها فوق الآخر انزلاقًا ناعمًا نسبيًا، أما عند العمق بأسفل فإن الإجهاد يتزايد إلى حد احتمال وقوع حدث كارثى. ولا يزال مما يتجاوز قدرة أجهزتنا الحديثة أن تجس أعماق الأرض مباشرة لترى ما يجرى هناك. وكل ما يمكننا فعله حاليًا هو تحليل

الموجات التى تنتقل خلال الأرض عندما يحدث زلزال فعلاً، ثم نبحث وراء فى الزمان لننشئ فروضًا معقولة عن الطريقة التى يمكن بها أن يتولد الحدث. إننا جميعًا غارقون فى بحر الجهل بالزلازل، وخاصة فيما يتعلق بمصدر الهزات الأهون وتوقعات تصاعدها. وينبغى ألا يفسر هذا على أنه نظرة متشائمة منى. فعلى العكس من ذلك، عندما تتوغل جيوب الجهل البشرى إلى أعمق ما تصل إليه، نرى تاريخيًا أن العلم عندها يتقدم بأقصى سرعة. والسؤال الذى يظل مفتوحًا هو عن "اتجاه" التقدم العلمى فى المستقبل، وهذا سؤال يحير كل رجل إدارة عامة يواجه باتخاذ قرار عن الطريقة التى توزع بها حصص تمويل البحث المحدودة فيما بين مئات العلماء المتلهفين الذين يمولون تمويلاً منقوصًا.

الموجات الأولية (– أ - p)

والثانوية (– ث ، - S)

أحد الجوانب الأكثر إرعابًا فى الزلازل هو أنها كثيرًا ما تحدث دمارًا كبيرًا على مسافات بعيدة بعدًا له قدره عن المصدر. فالطبيعة تمقت مقتًا شديدًا أن يكون هناك تركيزات للطاقة الحركية بينما للأرض كيانها الممتد هكذا، وعندما ينزلق فجأة صدع جيولوجى، فإن الطاقة الحركية التى يطلقها تنتشر خارجة من المصدر كسلسلة من أمواج صدورها كروية. ومن داخل الكوكب، نجد أن هذه الموجات الزلزالية تنحنى وتنعكس عند الوجوه البينية التى توجد بين القشرة والوشاح وبين الوشاح والمنطقة الخارجية من اللب. وهى عند السطح العلوى للقشرة، تنقل بعض طاقتها للبحار (مصدر الموجات التسونامية) وللجو (مصدر صوت " القعقعة" التى كثيرًا ما تصحب الزلازل). ويتشعع باقى الطاقة للخارج على طول القشرة الأرضية مثل التموجات فى بركة. وهناك روايات عديدة لشهود عيان رأوا سطح الأرض "وهو يتلوى كالثعبان" أثناء الزلازل القوية.

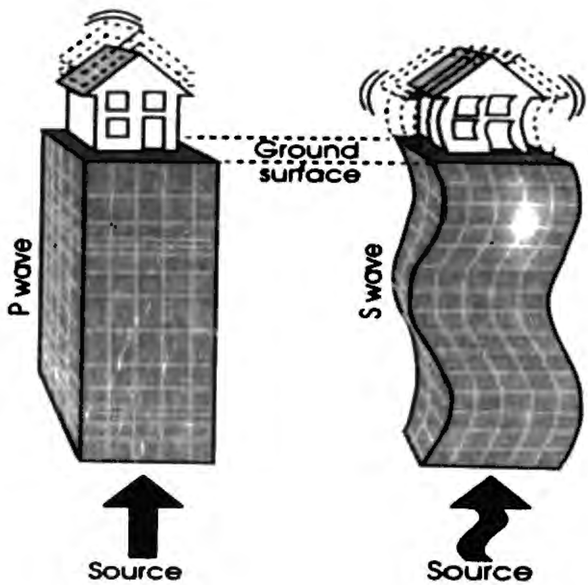
عندما أتحدث عن الموجات الزلزالية في الأرض أستخدم كلمة "الأرض" فى الإشارة إلى كوكبنا، وهو فى الحقيقة فى معظمه صخرى عند الأعماق التى تنبع منها الزلازل. وفى معظم المناطق لا يكون للطبقة الضحلة من التربة العليا إلا تأثير قليل على الموجات الزلزالية. أما عندما تكون التربة العليا عميقة، وخاصة عندما تكون عميقة ورطبة، فإن موجات الزلزال تبطئ فى حركتها وتظهر نفس السلوك الذى تسلكه موجة التسونامى عند دخولها لمياه ضحلة: فتتزايد سعة الموجة إلى نسب مدمرة. وموجة الزلزال التى تدخل إلى منطقة من الطفل أو من حشو ترابى تكون كموجة بحر تدفعها العاصفة لتتهشم على صدر الشاطئ. وهذه الظاهرة تفسر السبب فى أن قسماً واحداً من مدينة المكسيك مساحته ٢٥ كيلو متراً مربعًا قد عانى من ذروة الدمار فى زلزال عام ١٩٨٥ الذى كان مركزه السطحى على بعد ٣٥٠ كيلو متراً بالكامل. فالتراب الذى ألقى به هناك لملء حوض بحيرة قديمة قدم فى الواقع "شاطئًا" تتكسر عليه الموجات الزلزالية.

مع ظهور أجهزة مرجفات حساسة يعتمد عليها فى أواخر القرن التاسع عشر، سرعان ما أصبح واضحًا أن الأرض تنشر نوعين متميزين من الموجات الزلزالية ينتقلان بسرعة أمواج مختلفة. والموجة الأسرع والتى بالتالى تصل أولاً إلى أى مرصد زلزالى هى "الموجة – أ" أو "P" (p للموجة الأولية" = Primary أو موجة الضغط pressure أو موجة الدفع .push) ويلى ذلك أن تأتى "الموجة ث أو "s" (s للموجة الثانوية secondary wave أو "الموجة الجزية snear wave أو "موجة الرج shake)، ولها قوة تدمير أقوى بما له قدره بالنسبة للمنشآت التى يبنيها البشر. والموجة – أ – تماثل موجة الصوت، وإذا كانت فترتها أقصر من حوالى ٠,٠٥ ثانية فإنها تُسمع بالفعل كصوت قعقعة منخفض يأتى من الأرض. وإذا كانت فترة الموجة أطول من ٠,٠٥ ثانية (وهو الحال المعتاد)، فإن الأذن لن تلتقطها، ولكننا مع ذلك سنشعر بالموجة كإحساس برجفة فى الأعضاء الداخلية للجسم. والموجة – أ قد تركل التراب عاليًا من سطح الأرض، ولكنها فى حد ذاتها نادراً ما تسبب أى هزة جانبية خطيرة للمبانى. على أن موجة – ث التى تتبع، هى التى كثيراً ما تهز المبانى لتحطمها إلى قطع. وتتحول الطرق إلى أشرطة ثعبانية وتتأرجح الجسور كالأراجيح. والرسم التوضيحى فى شكل (٦ . ٥) يبين التمييز ميكانيكيًا بين موجات – أ و موجات – ث.

وبالنسبة لمصادر الزلازل التى تقع خلال مسافة كيلو مترات قليلة من سطح الأرض، يكون للموجات - أ سرعة تبلغ حوالى ٥٤٠٠ متر فى الثانية، بينما تنتقل موجات - ث بسرعة تبلغ ٣٢٠٠ متر فى الثانية. (هذه المقادير مذكورة فى جدول ٥ .١). وهذا يعنى أنه لكل فترة زمنية من ثانية واحدة ، تنتقل موجة - أ مسافة ٢٢٠٠ متر إضافية فى تجاوز لموجة - ث التى تولد فى نفس الحدث . وهذه ليست مجرد تفاصيل علمية تافهة ، ذلك أنها توفر لنا إستراتيجية لتعيين المسافة بين نقطة الرصد ومصدر الزلزال .

جدول (٦ .٣) بعض الزلازل المدمرة بمرتبات ريختر أقل من ٧

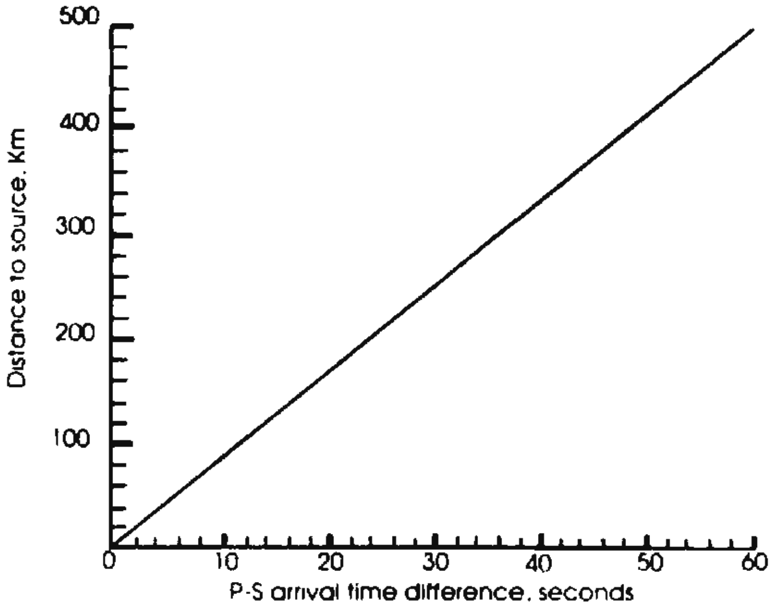
التاريخ	مرتبة ريختر	مرتبة ريختر	عدد الموتى
٢٩ فبراير ١٩٦٠	أغادير مراكش	٥,٩	١٤٠٠٠
٢٦ يوليو ١٩٦٣	سكوبجى - يوغسلافيا	٦,٠	١١٠٠
١٩ أغسطس ١٩٦٦	شرق تركيا	٦,٩	٢٥٢٠
٢٩ يوليو ١٩٦٧	كاراكاس ، فنزويلا	٦,٥	٢٥٠
٩ فبراير ١٩٧١	سان فرنانو ، كاليفورنيا ، الولايات المتحدة	٦,٥	٦٥
١٠ إبريل ١٩٧٢	جنوب إيران	٦,٩	٥٠٥٧
٢٣ ديسمبر ١٩٧٢	مانجوا ، نكياراجوا	٦,٢	١٠٠٠٠٠
٢٨ ديسمبر ١٩٧٤	باكستان	٦,٣	٥٢٠٠
٦ سبتمبر ١٩٧٥	لايس ، تركيا	٦,٨	٢٣١٢
٦ مايو ١٩٧٦	فريولى ، إيطاليا	٦,٥	٩٦٥
١٣ ديسمبر ١٩٨٢	شمال اليمن	٦,٠	٢٨٠٠
٣١ مارس ١٩٨٣	جنوب كولومبيا	٥,٥	٢٥٠
١٠ أكتوبر ١٩٨٣	السلفادور	٥,٤	١٠٠٠
٢٠ أغسطس ١٩٨٨	الهند/نيبال	٦,٥	١٠٠٠
٧ ديسمبر ١٩٨٨	شمال غرب أرمينيا	٦,٨	٥٥٠٠٠
١٧ أكتوبر ١٩٨٩	سان فرانسيسكو ، كاليفورنيا الولايات المتحدة	٦,٩	٦٢
٣٠ مايو ١٩٩٠	شمال بيرو	٦,٣	١١٥
١ فبراير ١٩٩١	باكستان / أفغانستان	٦,٨	١٢٠٠
١٣ ، ١٥ مارس ١٩٩٢	شرق تركيا	٦,٢ و ٦,٠	٤٠٠٠
١٢ أكتوبر ١٩٩٢	القاهرة ، مصر	٥,٩	٤٥٠
١٧ يناير ١٩٩٥	كوب / اليابان	٦,٩	٥٥٠٠



شكل (٦ .٥) أمواج أولية (- أ = P) وثانوية (- ث = S) تبث موجات - أ كاضطراب ضغطى بينما تبث موجات ث كاضطراب أفقى .

نفرض مثلاً أن مرجفتنا تكشف عن موجة - أ ، ثم بعدها بثلاثين ثانية تكشف عن موجة - ث. ما مسافة بُعد مصدر الزلزال؟ يبدأ المنطق اللفظى هنا فى أن يكون أخرقَ، لأن الفارق الزمنى الذى قسناه ليس مماثلاً للزمن الذى انتقلت فيه الموجات بالفعل، والمسافة بين مصدرى الموجتين لا تماثل المسافة من نقطة رصدنا إلى مصدر الزلزال. أما المنطق الجبرى الرمزى فيوفر لنا وسيلة أكثر ملاءمة لتحليل مشكلة من هذا النوع، وإنى لأدعو القراء الذين على هذا المستوى من البراعة فى الرياضة، لأن يكتبوا ويحلوا المعادلات المتعلقة بالأمر. (والحل عندى هو ٢٣٥,٦ كم للفترة الزمنية أ - ث من ٣٠ ثانية. على أننا إذا كنا راغبين فى التضحية بالدقة شيئًا قليلاً، فإننا سنتمكن من الوصول إلى الإجابة نفسها أساسًا من خلال الرسم البيانى فى شكل (٦.٦) على المحور الأفقى سنعين الاختلاف فى زمن وصول موجات - أ وموجات - ث، بينما نقرأ على المحور الرأسى ما يناظر ذلك من مسافة بعد المصدر. وحسب ذلك فإن فترة أ - ث

من ٣٠ ثانية تناظر مسافة بعد عن المصدر هى ٢٣٥ كيلو متر، وفترة ١٠ ثوان تعكس مسافة بعد من ٧٩ كيلو متراً.



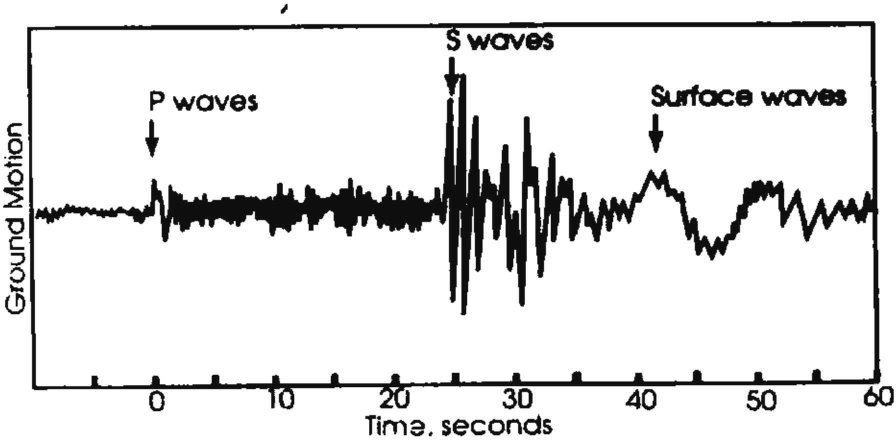
(الفارق الزمني لوصول أ - ث الثوانى)

شكل (٦ ٦) مسافة بعد مصدر الزلزال يمكن تعيينها من الفارق الزمنى بين وصول أول موجة - (أ) وأول موجة - (ث)

وهذا يعنى أننا حاليًا لدينا "فعلاً" القدرة على التنبؤ بالزلازل، وإن يكن ذلك قبلها بثوان معدودة فحسب. ولو تصادف أن كنا نرقب مرجفة عند وصول إحدى موجات- أ، وكان المصدر على بعد ٧٩ كيلو متراً، سيكون لدينا نحو ١٠ ثوان للنزول تحت مكتب أو داخل إطار باب قبل وصول موجة - ث بما لها من إمكانية للتدمير. وإذا حدث أن كان المصدر أكثر بُعداً، سيكون لدينا وقت أطول. وفى المناطق النشطة زلزاليًا يدرب تلاميذ المدارس والعاملون فى المكاتب تدريبًا روتينيًا على طريقة الاستجابة لهذه المهلة القصيرة بين البداية الأولى للهزة المحسوسة لموجة - أ ووصول موجة - ث التالية الأكثر تدميراً. والإستراتيجية الأساسية عندما نفاجأ داخل أحد المبانى، هى أن نسارع بأن نكون أسفل شيء لا ينهار فوق رءوسنا، شيء فى أسوأ الأحوال سيحيطنا بفراغ كاف للتنفس حتى توجد الفرصة لعمال الإنقاذ ليحفروا لإخراجنا من الأنقاض.

تسجيلات المرجفات تبدو عادة للعين غير المدربة كخربشات عشوائية، وقد تكون بداية موجات - أ و- ث للزلزال غير واضحة بالذات فوق جهاز مرجفة يصدف أن يكون موجهًا فى اتجاه ليس بالاتجاه الأمثل تمامًا للكشف عن زلزال بعينه. وحتى يحدد العلماء موضع المصدر، فإنهم يحتاجون إلى فحص البيانات المسجلة بأجهزة عديدة فى مراصد عديدة. ويبين شكل (٦ . ٧) تسجيل سيسموجرافى (مرجفى) جُعل إلى حد ما مثاليًا ، ويظهر فيه معًا بداية موجات - أ و- ث على نفس التسجيل ، وهى تقريبًا واضحة بالدرجة التى يمكن لنا أن نأملها. وحتى هنا سنجد أن من الصعوبة قراءة الفترة الزمنية أ- ث بدقة تزيد كثيرًا عن نصف الثانية. وهذا يترجم لنا مسافة بعد المصدر بدرجة من عدم اليقين تصل إلى نحو ٤ كيلو مترات.

وقد يتوقع المرء أنه مع تكنولوجيا تصنيع الأجهزة الحديثة يكون فى الإمكان الوصول إلى درجة أكبر من الدقة. ولكن هذا لا يحدث ، وقد ثبت فى النهاية أن السبب فى هذا القصور لا علاقة له بمدى رقى صناعة الأجهزة. فنحن لا نستطيع أن نحدد موضع مصدر الزلزال بدقة أكثر من نطاق كيلومترات معدودة (وفى بعض الحالات



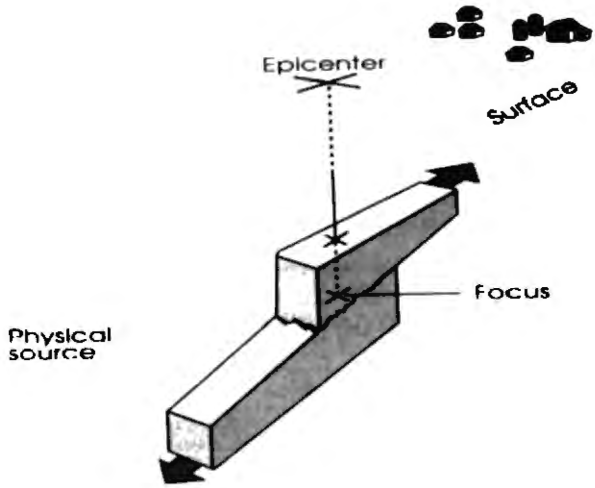
شكل (٦ ، ٧) تسجيل سيسموجرافى (مرجفى) لأحد الزلازل. وفى هذه الحالة وصلت أول موجة - ث بعد ٢٥ ثانية من أول موجة - أ، بما يدل على أن المصدر كان على بعد ١٩٦ كيلو متر من المرصد.

عشرات من الكيلومترات)، وسبب ذلك ببساطة أن المصدر نفسه يكون عادة كبير الحجم هكذا. فالزلزال لا ينتج عن انفجار الطاقة عند نقطة هندسية مفردة فى القشرة،

وإنما الأولى أن الزلزال ينتج عن الانزلاق المفاجئ في قسم من خط الصدع قد يصل طوله إلى كيلو مترات كثيرة. وهذا في الحقيقة هو السبب في أن تشارلز ريختر اختار أن يستخدم مسافة المائة كيلو متر كمسافته "المقننة" للبعد عن المصدر عند إرساء مقياسه للمرتبات. ولو كان ريختر قد اختار مسافة كيلو متر واحد أو حتى ١٠ كيلومترات، فإن مسافة مرجعية من هذا النوع ستكون أصغر من بعض مصادر الزلزال التي كان يحاول قياسها، وسيكون مقياسه بلا فائدة كأساس لمقارنة الأحداث المختلفة. باختيار المائة كيلو متر كمسافة مرجعية، فإنه كان متأكداً أن المصدر الذي يكون حجمه عدة كيلومترات لن يؤثر في تحديده لمرتبة الزلزال لأكثر من نسبة مئوية قليلة. والحقيقة أن وجود تعارض في مرتبة ريختر بنسبة مئوية قليلة أمر شائع في الأدبيات العلمية . وقد يصف أحد الباحثين زلزالاً بعينه بأن مرتبته كحدث تبلغ (٧,٧) في حين أن باحثًا آخر في مرصد مختلف يحسب مرتبة (٧,٦) لنفس الحدث. وليس سبب ذلك أن أحداً ما أساء القياس أو الحساب. وإنما هذا بالأحرى انعكاس للتشوش المتأصل في ظاهرة الزلازل.

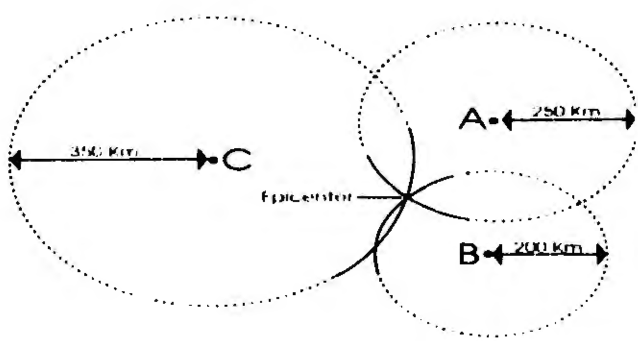
بصرف النظر عما إذا كنا سنستخدم مقياس ريختر أو مرتبة العزم، فإن "مرتبة" الزلزال تشير دائمًا إلى مقدار الطاقة التي انطلقت عند المصدر وليس إلى سعة الموجات التي تسجل عند أي مرصد بعينه. و"المصدر" بدوره هو تلك المنطقة المشوشة نوعًا التي تشكل الأصل الفيزيقي للزلزال، أي أنها ذلك القسم من الصدع الذي حدث فيه انزلاق. والمركز الهندسي لمنطقة المصدر الممتدة هذه يسمى "بؤرة" الزلزال، وهو باللغة الرياضية يعامل كنقطة بالضبط. وقد تكون البؤرة قرب سطح الأرض، أو قد تقع داخل القشرة بمسافة لها قدرها. والنقطة فوق سطح الأرض التي تعلو البؤرة مباشرة تسمى "المركز السطحي" للزلزال. والعلاقة بين بؤرة الزلزال ومركزه السطحي ومصدره الفيزيقي مصورة في شكل (٦ ، ٨) .

على الرغم مما جُعل من مثالية هندسية في هذا التصور، إلا أن مفهوم المركز السطحي مفهوم مفيد جداً، حيث إنه يمكن تحديده تحديداً دقيقًا نوعًا ما (يكون ذلك نمطيًا بدقة في نطاق كيلومترات معدودة) بأن نؤلف بين البيانات التي سُجلت في ثلاثة مراصد سيسموجرافية مختلفة.



شكل (٦ . ٨) العلاقة بين المركز السطحى للزلزال، وبؤرته ومصدره الفيزيقى

والرسم التوضيحى فى شكل (٩،٦) يبين كيف يتم فعل ذلك. فأولاً، يستخدم كل مرصد ما يخصه من تسجيلات لأوقات وصول موجتى- أ ، و- ث ليعين مسافة بعده هو نفسه عن المصدر. وهذا قد يخبر الراصد س مثلاً أن المركز السطحى فى مكان ما على نصف قطر دائرة طوله ٢٥٠ كيلو متراً والدائرة مركزها عند مرصده. وفى الوقت نفسه فإن الراصد ص قد يستنتج أن المركز السطحى يقع فى مكان ما على نصف



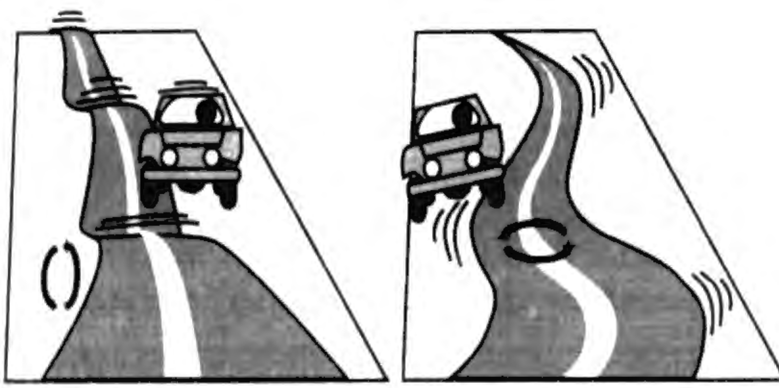
شكل (٦ ٩) يمكن تحديد موقع المركز السطحى للزلزال بتوليف البيانات الآتية من ثلاثة مراصد سيسموجرافية. وفى هذه الحالة فإن المركز السطحى يكون فى الوقت نفسه على بعد ٢٥٠ كيلو متراً من المرصد س، و٢٠٠ كيلو متر من المرصد ص، و٣٥٠ كيلو متراً من المرصد ع.

دائرة طوله ٢٠٠ كيلو متر والدائرة مركزها عند ذلك المرصد، بينما بالنسبة للراصد ع تطرح البيانات دائرة نصف قطرها ٢٥٠ كيلو متراً. عند توليف المسافات التى من هذه المراصد الثلاثة، لا يبقى أمامنا إلا احتمال واحد فقط لموقع المركز السطحى. ويمكن تعيين هذا الموقع بالرسم كما فى شكل (٩.٦) أو تعيينه بضبط أكثر بإجراء حساب مثلثات. وعلى الرغم من أننا نحتاج فقط لبيانات من ثلاثة مراصد، إلا أنه عند التطبيق العملى تتحسن درجة الاعتماد على ثبات الحسابات بتضمين بيانات من مراصد إضافية.

المركز السطحى يعين النقطة التى تعلو البؤرة مباشرة، أو منطقة انزلاق الصدع. على أن تعيين عمق البؤرة أمر أكثر صعوبة. رأينا فى جدول (١.٥) أنه عند الأعماق الكبرى تتحرك كل من موجات- أ، و- ث بسرعات أكبر مما تتحرك به بالقرب من السطح. ولتحديد العمق، نحتاج أولاً إلى معرفة سرعة الموجات، وهذه بدورها تعتمد على العمق غير المعروف الذى نحاول حساب قيمته. والطريقة الحسابية المعتادة لتناول الأمر هى طريقة من التجربة والخطأ: فنخمن بعداً بؤرياً، ونحسب ما ينبغى أن تسجله المراصد السيسموجرافية المختلفة، ونقارن ذلك بتسجيلاتها الفعلية، ونعدل من التخمين الأصلى حسب ذلك، ثم نكرر الحسابات مع القيمة المراجعة فى سلسلة من التقريبات المتتابعة. ولكن حتى هذه العملية لا تولد دائمًا نتائج جد متماسكة. إلا أنها تخبرنا بالفعل بأن ٧٥٪ من الطاقة الزلزالية التى تنطلق فى كل أرجاء العالم تأتى فيما يُحتمل من بؤر لا يزيد عمقها عن ١٠ - ١٥ كيلو متراً، بحيث إنه فى معظم الحالات يصبح فى الأمر تمييز دقيق بين ما إذا كنا نشير إلى المركز السطحى أو نشير إلى البؤرة. وهذه الزلازل ذات البؤرة الضحلة، هى كما يمكن أن نتوقع الزلازل الأكثر تدميراً. أما فيما يتعلق بنسبة الـ ٢٥٪ الأخرى، فقد عينت بؤر يبلغ عمقها ٦٨٠ كيلو متراً على مسافة لها قدرها من داخل وشاح الأرض. والزلازل التى لها بؤرة عميقة هكذا نادراً ما تسبب الكثير من الدمار السطحى، ومع ذلك فإن تسجيلاتها السيسموجرافية مفيدة تماماً لرسم خريطة البنية الداخلية للأرض ولتوسيع قاعدة البيانات التى يلزم للمنظرين الاعتماد عليها فى محاولاتهم لتنقيح النظرية الحالية لتكتونيات الألواح.

موجات السطح والمنشآت

الدمار الرئيسى الذى تحدثه الزلازل لا يكون دائمًا بسبب التأثير المباشر لموجات - أ، و- ث التى انتقلت خلال كتلة الأرض المكتلة. فكثيراً ما ينتج الدمار عن موجات أخرى تالية فى أنماط مركبة، تمتطى سطح الأرض. وهذه "الموجات السطحية" (شكل ٦، ١٠) كثيراً ما تكون مرئية على نحو مثير أثناء الزلزال القوى، وهى تنشأ عندما تضرب موجات- أ، و- ث سطح الأرض من أسفل.



شكل (٦ ،١٠) موجات سطحية

أول موجة سطحية تصل تكون أساسًا فى ذيل موجة - ث وتسمى "موجة الحب"، وهى تتميز بحركة ثعبانية جانبية لسطح الأرض يمكن أن تكون مدمرة بالذات لأسس المبانى وأنابيب المياه والغاز. وبعد وصول موجة الحب بزمن قليل تصل "موجة رايلى" التى تنتقل بسرعة حوالى ٩٢٪ من سرعة موجة - ث. وهذه الموجة لها حركة دحرجة لأعلى وأسفل تماثل تمامًا موجة الماء، والحقيقة أن موجات رايلى عندما تدخل بحيرة داخل الأرض تولد فيها موجات ماء على السطح. وموجات رايلى كثيراً ما تحدث تخريبًا للجسور والطرق الرئيسية المرتفعة. وموجات الحب هى وموجات رايلى يجعلان المبانى العالية تدخل فى حالة تذبذب، وتمزقان كابلات الطاقة والاتصالات من فوق أعمدتها.

والأمـواج السطـحية عـندما تلاقـى تربـة رطـبة (خـاصة إن كانت من الرمال أو الطُفل)، فإنها تثير حركة جسيمات التربة بطريقة تجعل هذه المادة تسلك مؤقتا وكأنها سائل وليست من الجوامد. وهى ظاهرة معروفة بأنها "إسالة التربة". وأى منشأ يعتمد على تربة كهذه فى دعمه سوف يغوص سريعًا فى هذه الظروف. والصـورة الفوتوغرافية فى شكل (٦، ١١) تبين صفًا من مبانى الشقق السكنية التى استقرت فى وضع مثير بسبب إسالة التربة أثناء زلزال فى اليابان فى عام ١٩٦٤، وقد لزم هدم هذه المبانى حتى وإن كان بعضها من الوجهة الإنشائية غير تالف نسبيًا. ومن الواضح أنه فى المناطق التى تتعرض للزلازل يكون من حسن التدبير دائمًا أن يتم البناء فوق صخر وليس فوق رمل أو طفل.



شكل (٦، ١١) إسالة التربة أثناء زلزال فى ١٦ يونيو ١٩٦٤، بما أدى إلى انقلاب هذه المبانى بالشقق السكنية فى نايجاتا باليابان. (الصورة بإذن من المركز القومى للبيانات الجيوفيزيائية)

صممت لوائح البناء فى المناطق النشطة زلزاليا (كمعظم كاليفورنيا مثلاً) للوقاية ضد هذه الأنواع من الحركة الناجمة عن الأمواج السطحية. ويتم تثبيت أطر الجدران

بأمان إلى الأساسات باستخدام مسامير لولبية ضخمة (جويطات) تمنع أي إخفاق بالجز - القاعدى، ويُبنى فى داخل الجدران شيكالات تربيط قطرية، ويعمل للجاراجات شيكالات تربيط تقاطعي لتوقّى اللّي بالذبذبة؛ وتسلح المداخن داخليًا بالصلب وتربط ربطًا أمنًا بباقي المنشأ. وبالطبع فإن كل الخرسانة الإنشائية يجب أن تُسلَّح بأن يدفن فيها قضبان صلب أو شبكة أسلاك. عندما ننظر إلى قوائم عدد الوفيات في الزلازل فى كوكبنا كله (ملحق ب)، لن يكون لدينا أدنى شك فى أن الضحايا يكون عددهم أعلى فى الأماكن التى ينقصها وجود لوائح بناء حازمة. ولسوء الحظ، فإنه من الصعب تمامًا إعادة إصلاح منشأ قديم لتحسين مقاومته للموجات السطحية، وفى المناطق تحت النامية اقتصاديًا قد يكون من الصعب جدًا أن نجعل الناس يذعنون للوائح البناء الصارمة التى تتخذ لحمايتهم من زلزال قد لا يحدث قط بالفعل أثناء حياتهم. والحياة فى منشآت حساسة للزلزال ليس دائمًا بالحالة التى يختارها أفراد البشر مغامرين بمخاطرها، إلا أن الأمر هو أنه توجد فى أجزاء كثيرة من العالم قطاعات كبيرة من السكان ليست أمامها ببساطة أى بديل اقتصادى مقبول. وهؤلاء الناس سوف يستفيدون فائدة عظيمة لو أصبح في الإمكان ذات يوم توقع الزلازل وإصدار إنذارات عنها في الوقت المناسب لإخلاء المنشآت غير الآمنة.

التنبؤ بالزلازل

نحن نستطيع أن ننقذ فى كل سنة حيوات لا عدد لها لو أمكننا الإجابة عن ثلاثة أسئلة عن الزلزال قبل أن يقع: أين؟ ومتى؟ وما قدره ؟

ما لم يكن موقعنا عند السطح المركزى مباشرة، فإن الزلزال دائمًا يرسل برقية إنذار تسبق بثوان معدودة وصول الموجات السطحية الأكثر تدميرًا. وهذا الوقت فيه الكفاية لأن يوقف السائق الذكى سيارته ، ولأن يقبع من بُوغتوا داخل المبانى عند أطر الأبواب أو تحت الطاولات الثابتة. على أن الثوانى المعدودة ليست وقتًا كافيًا لإخلاء المبانى، ناهيك عن المدن، وعلى أى حال فإن الجرى فى شارع مزدحم حيث خطوط الطاقة وواجهات المبانى على وشك أن تنقلب، الجرى هكذا لن يكون أحذق ما يمكن

فعله. ومن الواضح أن ما نحتاجه هو إنذار مسبق يتيح زمنًا من ساعات معدودة إلى أيام معدودة وليس ثوان معدودة.

يوجد فى شمال كاليفورنيا قرب سان فرانسيسكو قطاع طويل من صدع سان أندرياس ظل منحبسًا منذ كارثة عام ١٩٠٦؛ وهناك قطاع آخر من هذا الصدع فى جنوب كاليفورنيا قرب لوس أنجلوس لم يحدث فيه انزلاق منذ الزلزال الكبير فى عام ١٨٥٧ (زلزال شدته X - XI بمقياس ميرسالى). أما فيما بين هذين القطاعين، فإن الجانب الباسيفيكى من هذا الصدع المضرب - المنزلق الطويل يداوم على الحركة باحتكاك تجاه الشمال بمعدل ٢ إلى ٥ سنتيمترات (ما يصل إلى بوصتين) فى كل سنة. وهذا يطرح أن الأقسام العديدة من الصدع القريبة من أكثر مناطق كاليفورنيا سكانًا، لها القدرة على أن تنطلق فجأة سائبة لتستدرك تو اللحظة تقريبًا أمتارًا عديدة من حركة ضائعة. ومثل هذه الزلازل تكون حقًا كارثية، ويمكن أن تسجل بسهولة مرتبة من ٨ أو أكبر بمقياس ريختر. هل هذا سيحدث بالفعل؟ نعم، هذا أمر جد محتمل. ومتى؟ لعله سيحدث بعد قرن من الآن، أو لعله سيحدث غداً.

لدينا أدلة حديثة على أن هناك حقًا إجهاداً يتزايد، وذلك لأنه فى السنوات القليلة الأخيرة تعرضت كل من سان فرانسيسكو ولوس أنجلوس إلى زلازل مدمرة بسبب انزلاقات فى الشبكة الواسعة للصدوع تحت الأرضية غرب الحد بين اللوح الباسيفيكى واللوح الأمريكى الشمالى. فى الساعة ٣١: ٤ صباحًا من ١٧ يناير ١٩٩٤ وقع زلزال بمرتبة ٦,٦ ريختر مركزه يقع على بعد ١٥ كيلو مترًا أسفل مجتمع نورثريدج وقتل الزلزال ٥٥ فرداً فى منطقة لوس أنجلوس، وسبب انهيار طرق علوية رئيسية عديدة، وغمر الظلام ١,٣ مليون فرد، وسبب انفجار ماسورة غاز رئيسية، وأتلف ٤٠٠٠٠ مبنى (منها ١٦٠٠ ساء حالها بحيث لزم هدمها). وحدث قبلها بسنوات قليلة فحسب فى ١٧ أكتوبر ١٩٨٩ أن كان مشاهدو التلفزيون فى الأمة كلها قد ضبطوا أجهزتهم لمشاهدة مباراة فريق عمالقة سان فرانسيسكو مع فريق أوكلند فى السلسلة العالمية، فرأوا شاشاتهم وقد أصبحت بلا إرسال عندها ضرب زلزال من مرتبة ٦,٩ منطقة جنوب المدينة مباشرة. وفى هذا الزلزال فقد ٦٢ فرداً حياتهم، وانهار قطاع سكنى فى

مواجهة الخليج بسبب إسالة التربة، واحترقت بلوكات عديدة من المدينة طوال الليل فى حريق غير محكوم. على أنه لم يكن هناك فى أى من هذين الحدثين أى انزلاق بطول الأجزاء المنحبسة من صدع سان أندرياس. وهكذا ، فإن هذه الطاقة الرئيسية المكبوتة للصدع مازالت موجودة هناك، ويواصل الإجهاد تزايده سنة بعد سنة.

أنشئت نماذج رياضية لربط فترة المعاودة بين الزلازل فى علاقة مع معدل الانزلاق الطبيعي للصدع المنحبس ومرتبة الزلزال الذى ينتج عندما يحدث فى النهاية أن ينطلق الصدع سائبًا(٦). وكمثل، إذا كان الصدع يتحرك طبيعيًا سنتيمترًا واحدًا في كل سنة ولكنه ينحبس بعدها لنحو ١٠٠ عام، ستكون له القدرة على توليد زلزال بمرتبة من ٧ ، من الناحية الأخرى، إذا كان معدل الانزلاق الطبيعي للصدع هو ١٠ سنتيمترات في كل سنة، ثم انحبس، فلن يستغرق الأمر إلا نحو ٥٠ سنة ينشأ خلالها بالتدريج إمكان زلزال مدمر من مرتبة ٨ ، وبالطبع، فإن أيًا من هذا لا يتنبأ بالفعل بما سوف يحدث، أو متى سيحدث، وإنما فى هذا ما يضع ببساطة حدودًا لما "يمكن" أن يحدث. وللتعبير عن ذلك بلغة الاحتمالات فإن هيئة المسح الجيولوجي للولايات المتحدة تقرر الآن أن احتمال وقوع زلزال بمرتبة ٨،٣ بطول القسم الجنوبى من صدع سان أندرياس هو احتمال يقدر عند رقم ما بين ٢٪ أو ٥٪ فى السنة، أو حوالى ٥٠٪ خلال مايلى من عشرين إلى ثلاثين سنة.

وعلى الرغم من أوجه القصور الواضحة في قيم هذه الاحتمالات إلا أنها أبعد من أن تكون معلومات لا فائدة لها. وعندما تحدث سلسلة من ١٠ زلازل مرتبتها ٧ فإنها تطلق طاقة مقدارها الكلي هو نفس مقدار الطاقة التى يطلقها زلزال وحيد مرتبته ٨ ، على أن حدث الزلزال الواحد من مرتبة ٨ يمكن أن يسبب دمارًا يزيد زيادة لها قدرها من عشرة أمثال الدمار التراكمي لعشرة زلازل بمرتبة ٧٪ ، خاصة إذا كانت مبانى المنطقة قد صممت لتقاوم فحسب حدثًا بمرتبة ٧، وإذا كان هناك احتمال على نحو معقول بأن يحدث زلزال بمرتبة ٨، يكون من حسن التدبير إنشاء لوائح بناء تعد لهذا الحدث. وبالتالى، فإنه حتى تلك التنبؤات الاحتمالية على المدى الطويل تكون ذات أهمية لها وزنها لكل من المهندسين ومخططى السياسة العامة.

ولكن إلى أى مدى نتبع هذه الإستراتيجية؟ هناك أدلة قوية إلى حد معقول على أن أقصى الزلازل شدة في تاريخ الولايات المتحدة ربما كان مركزها ليس في كاليفورنيا أو ألاسكا، وإنما من بين كل الأماكن نجد أن أقربها لذلك هو نيو مدريد، في ميسورى! ولما كان هذا الحدث الزلزالى قد وقع وراء في عام ١٨١١، عندما كان إسكان هذه المنطقة ضئيلاً، فإنه لم يُحدِث محليًا سوى القليل من تلف للممتلكات أو فقدان للحياة. ومع ذلك فإن هذا الحدث قد سجل بمقياس ميرسالى درجة شدة من XI - X قرب مصدره، وسجلت درجة شدة من ٧ لتلف المنشآت في أماكن جد بعيدة مثل بيتسبرج وواشنطن العاصمة وساحل جنوب كارولينا. بل إن بوسطن التى تبعد عن المصدر بنحو ١٨٠٠ كيلومتر (١١٠٠ ميل) قد تعرضت لتأثيرات بدرجة شدة .(7) III وقد أدى هذا الزلزال الهائل لارتفاع موجة تسونامي فوق نهر الميسيسيبي، أدت وقتها إلى انعكاس تيار النهر لما يقرب من نصف الساعة وهو يتدفق إلى منخفضات تكونت حديثًا، مكونًا بحيرات عديدة مازالت موجودة للآن. وجدير بالملاحظة أن بؤرة هذا الزلزال الكبير كانت تمامًا في داخل حدود اللوح الأمريكي الشمالى حيث لا يوجد أى صدع جيولوجى واضح. هل جنوب ميسورى عرضة اليوم لخطر حدث مماثل، بعد أن مرَّ عليه ما يزيد عن ١٨٠ سنة؟ يكاد ذلك يكون مؤكدًا. فالمكان ليس فقط عرضة للخطر، وإنما أيضًا سيؤدى تكرار وقوع حدث عام ١٨١١ في وسط الولايات المتحدة إلى إحداث كارثة أعظم كثيراً من "الكارثة الكبرى" التى يحاول الآن كل واحد أن يتنبأ بها في كاليفورنيا. وقد صُممت معظم مبانى كاليفورنيا لمقاومة قدر معقول من حركة الأرض، أما في ميسورى فإن معظم مبانيها لم تصمم هكذا.

من الواضح أن الزلازل تحدث بالفعل في الجزء الشرقى من أمريكا الشمالية، وجدول (٦، ٤) فيه قائمة بأهم هذه الزلازل منذ ١٦٣٤، وفيما يبدو، فإن زلازل المنطقة الشرقية تقع على صدوع قديمة يمكن أن تقبع ساكنة لما يصل إلى ثلاثة آلاف عام، ومعالمها السطحية قد تآكلت لزمن طويل بما جعلها تضيع. وعبر هذه الفترات الزمنية الطويلة سنجد أن من الممكن حتى لحسابات الاحتمالات أن تصير بلا معنى. وكمثل، فإنه من غير المعقول أن نصمم منشأ ليقاوم زلزالاً من مرتبة ٧ عندما يكون احتمال أن يقع زلزال كهذا خلال عمر المبنى هو ربما عُشر فحسب من الواحد في المائة. وحاليًا

ليس أمامنا أى بديل إلا أن نوافق على حقيقة أنه عندما يضرب الزلزال التالي في الساحل الشرقى ضربته، فإن المنطقة المصابة ستفاجأ وهى تكاد تكون بدون أى استعداد.

من الواضح أن هناك فجوة كبيرة بين قدراتنا على:

١ - إثبات احتمال وقوع زلزال في المستقبل خلال فترة من عقود أو قرون من السنين. و

٢ - أن نتوقع موجة سطحية قبل وصولها بثوانى معدودة. وباعتبار القدر الهائل من الطاقة التى تنطلق أثناء الزلزال، يبدو من غير المحتمل أنه لن يكون هناك نذر فى فترة زمن بينية - كأن يكون ذلك مثلاً لساعات أو أيام قليلة مسبقة. لو كسر الواحد منا عصًا فوق ركبته، سيسمع العصا وهى تأخذ فى التكسر قبل انقصافها مباشرة. ولو لففنا غطاء لننزعه عن برطمان جديد للمخللات، سنحس بالغطاء وقد أخذ يزول عن موضعه قبل نزعه مباشرة. وفيما يبدو، فإنه لاشك فى أنه يجب أن يكون هناك نذر مشابهة فى الساعات أو الأيام أو الشهور السابقة لانطلاق الصدع الجيولوجى المنحبس متحرراً على نحو كارثى. وإذا كان الأمر هكذا، فإن الاكتشاف العلمى لهذه النذر (وأنا أعنى بكلمة "العلمى" ما هو كمى وقابل للتكرار) يمكن أن يقودنا فى يوم ما إلى إنشاء طريقة علمية للتنبؤ بالزلازل.

استمرت محاولة اصطياد نذر يعتمد عليها طيلة عقود عديدة، ونشرت المجلات العلمية مقالات كثيرة تطرح أن الزلازل ربما تهمس حقًا برسائل خفية قبل أن تطلق كميات مدمرة من الطاقة، وأحيانًا يحدث تراوح فى مستوى المياه بالآبار يسبق الزلزال مباشرة، وأحيانًا ينطلق غاز الرادون. وهناك دليل لافت على أن بعض الصدوع قد تبث تفجراً من موجات راديو طويلة عند زمن يسبق قليلاً تفجر الصدع. وهناك أيضًا الظاهرة الانتفاخية: التمدد الهين المؤقت لمادة مجهدة بما يسبق مباشرة

جدول ٦ .٤ بعض الزلازل المهمة فى شرق أمريكا الشمالية

التاريخ	المكان	تعليقات بمقياس ميرسالى	تعليقات
١١ يونيو ١٦٣٨	ماساتشوستس	IX	سقوط مداخن كثيرة
٥ فبراير ١٦٦٣	منطقة سان لورانس	X	سقوط مداخن لمسافة وصلت إلى ماساتشوستس
١٦ سبتمبر ١٧٣٢	أونتاريو - كندا	IX	موت سبعة أفراد من مونتريال
١٨ نوفمبر ١٧٥٥	ماساتشوستس	VIII	تلف مباني حجرية . الإحساس بالزلزال من خليج تشيزابيك حتى نوفاسكوتيا.
١٨١١-١٨١٢	نيو مدريد، ميسورى	XI	ثلاث هزات رئيسية فى ١٦ ديسمبر و٢٣ يناير و٧فبراير . تغيرات دائمة واسعة النطاق فى رفع الأرض وفى مجارى الأنهار ، تلفيات لمسافة تصل إلى سينسيناتي ورتشموند . الإحساس بالزلزال في بوسطن
٢٠ أكتوبر ١٨٧٠	مونتريال وكويبك	IX	سجلت تلفيات أيضًا فى مين
٣١ أغسطس ١٨٩٥	تشارلستون ، كارولينا الجنوبية	X	٦٠ قتلى ، و تدمير ١٠٢ من الأبنية ، وتلف ٩٠٪ . الإحساس بالزلزال فى بوسطن وشيكاغو وسانت لويس.
٢٦ مايو ١٩٠٩	ميسورى	IX	الإحساس بالزلزال من كندا حتى لويزيانا.
١٢ أغسطس ١٩٢٩	أوروا ، إلينوى	VIII	سقوط مداخن عديدة
١٨ نوفمبر ١٩٢٩	أتيكا ، نيويورك	IX	سقوط ٢٥٠ مدخنة.
	تجاه جراند بانكز ، نيوفونلاند	X	تحطم ١٢ كابل عبر الأطلنطي ، بعضها تتباعد بمسافة ٢٥٠ كم . وفيات عديدة من التسونامى
٢٠ أبريل ١٩٣١	بحيرة جورج ، نيويورك	VIII	سقوط مداخن
٥ ستبمبر ١٩٤٤	كندا ، وولاية نيويورك	IX	تدمير أو تلف ٩٠٪ من المداخن فى مدينة ماسينا .

ملحوظة: للاطلاع على قائمة أكبر للزلازل، انظر الملحق ب.

استقرارها فى شكل جديد أكثر ثباتًا. والقياس المباشر للانتفاخية يتطلب مقياس ميل حساس جداً يوضع فى المكان الملائم، على أنه يمكن أحيانًا إجراء قياس غير مباشر بأن نقيس سرعة موجات - ث التى تنبع من مصادر أخرى وتنتقل خلال المنطقة موضع الاهتمام. فالصخر الذى وصل إجهاده لما يقرب من نقطة تفجره سوف يشطر موجة - ث إلى مكونين يتحركان بسرعة موجات تختلف اختلافًا هينًا، وبالتالى يختلف زمن وصولهما إلى المرجفة. ولسوء الحظ فإن تحليل البيانات يكون صعبًا تماماً ومليئًا بأوجه عدم اليقين، وحتى الآن فإن هذا التكنيك قد نجح أساسًا فى التنبؤ بزلازل لم تتحقق واقعيًا.

درس بعض العلماء أيضًا سلوك الحيوانات. ونحن نجد فى كل التاريخ حكايات مسجلة كثيرة عن أنه يحدث قبل الزلزال بزمن قصير أن تجفل الماشية، وتعوى الذئاب، وتنبح الكلاب عنيفًا بلا سبب واضح، والبط يهرع خارج البرك، والخنازير تصبح هادئة على غير عاداتها المميزة، والدجاج يطير إلى الأشجار. وقد أجريت فى اليابان دراسة لست عشرة سنة (ونبذت فى ١٩٩٢) وذلك لاستكشاف استخدام سمك السلور للتنبؤ بالزلازل. وتوبعت إلكترونيًا تحركات هذه السمكة البطيئة الضعيفة العينين، وذلك لمدة أربع وعشرين ساعة فى كل يوم، وقورنت هذه التحركات بقياسات النشاط الزلزالى. ومع أن السمك كان ينشط حقًا بزمن يسبق بأيام معدودة وقوع ما يقرب من ٣١٪ من الزلزال، إلا أن سلوك السمك فشل مطلقًا فى أن يكون له علاقة ارتباط بمرتبة الزلزال، وبدت التوقعات ضئيلة جداً بالنسبة لأى إمكان لوضع نظام إنذار عملى للزلازل يتأسس على هذه الظاهرة البيولوجية غير الثابتة(٧).

والمشكلة الرئيسية فى إجراء هذا النوع من الأبحاث هى أننا لا ندرى أين يكون أحسن موقع نضع فيه أداة البحث (سمك السلور) إلا "بعد" أن يضرب الزلزال ضربته، وعندها يكون الوقت بالطبع جد متأخر للكشف عن أى نذر. والأغلبية العظمى من الزلازل تحدث فى مواقع لا يكون لدى أى فرد أى سبب لوضع أداة البحث فى منطقتها مباشرة. ومرة أخرى فإننا فى طريق مسدود: فللتنبؤ بالزلازل نحن نحتاج أن نعرف ما هى النذر التى نبحث عنها، ولكن حتى نضع أداة البحث فى المكان الذى تعين فيه

النذر، نحتاج أولاً للتنبؤ بالمكان والزمان اللذين سيحدث فيهما الزلزال. والأمر ببساطة أنه ليس من العملي تغطية كل ولاية كاليفورنيا بمقاييس الميل، وكشافات الرادون و/أو سمك السلور اليابانى، ثم نرقب هذا كله. ومن الواضح أن التقدم العلمى فى هذا المجال سيحتاج إلى أن تمد له ملكة الحظ يد المعاونة.

على أن الوقت ما زال جد مبكر لأن نحس بالتشاؤم حول الآمال المتوقعة لأن نعين فى يوم ما نذراً يُعتمد عليها. وعلى الرغم من أن الزلازل ظلت تقتل الناس وتقعدهم طيلة تاريخ البشر، إلا أنه لم يحدث إلا منذ زمن قصير نسبياً (خلال القرن العشرين) أننا قد أحرزنا أى تقدم ملحوظ فى قياس وتصنيف الأحداث الزلزالية. وعلم الزلازل (السيسمولوجيا) مازال صغير السن جداً، وكما يحدث فى أى علم صغير السن فإن أول إنجاز له هو تعيين فئات الأسئلة التى تتطلب المزيد من الدراسة العلمية. وإذن ومن المنظور الأكاديمى، فإن هذا أبعد من أن يكون مجالاً مسدود الطريق بالنسبة للبحث العلمى فى المستقبل.

على أن العلم الحديث لا يدفعه أمامًا مجرد أسئلة ذات أهمية أكاديمية، وإنما تدفعه أماماً المسائل التى يحتاج مجتمعنا أشد الحاجة للإجابة عنها. ومن الواضح أنه مع انتشار السكان بسرعة فى مناطق من الكرة الأرضية ذات نشاط زلزالى، فإننا نجد أنه فى كل عام يتزايد عدد الحيوات البشرية التى تصبح رهينة لعجزنا عن التنبؤ بالزلازل مقدمًا قبل وقوعها بساعات أو أيام قليلة. والثمن الاجتماعى لجهلنا العلمى هذا يتصاعد عامًا بعد عام، فى حين أن أى تكلفة لتمويل المزيد من الأبحاث العلمية سيكون لها وزنها بالنسبة لفوائدها الاجتماعية الممكنة. وإذا كان مستقبل الاستثمار الحكومى فى هذا الخط من البحث هو مما ينبغى أن ينتج عنه حقيقة طريقة يعتمد عليها للتنبؤ بالزلازل، فإنه سيثبت فى النهاية أن هذه الصفقة تماثل على الأقل فى أهميتها صفقة مثل الاستثمار الذى أنفق فى إنتاج طعوم شلل الأطفال.

الهوامش

(1) D. Landen, Alaska earthquake, Science (1964).

(2) B. A. Bolt, Earthquakes (New York: Freeman, 1988).

(3) B. F. Howell, Jr., An introduction to seismological research (Cambridge: C bridge University Press, 1990).

(4) C. Davision, The founders of seismology (Cambridge: Cambridge University Press, 1927).

(5) An earthquake in this region in December of 1920 claimed some 100.000 lives. For an account, see U. Close & E. McCormick, Where the mountains walked, National Geographic, May 1922, 445-64.

(6) L. Reiter, Earthquake hazard analysis (New York: Columbia University Press, 1990).

(7) O. W. Nuttli, The Mississippi Valley earthquakes of 1811 and 1812: Intensties, ground motion and magnitudes, Bulletin of the Seismological Society of America, 63 (1973), 227- 8.

الفصل السابع

البراكين والاصطدام بالكويكبات

سانت بيير ، المارتينيك ١٩٠٢

لم يعد هناك وجود لمدينة كان يسكنها ثلاثون ألفًا. والمدن المدمرة يعيد بناءها من نجوا أحياء، أما فى سانت بيير فلم ينج إلا ثلاثة. وسرعان ما مات اثنان منهم بعد إنقاذهم. أما الثالث فكان قاتلاً مدانًا حرر من زنزانة سجن تحت الأرض بعد ثلاثة أيام من النكبة، وبعد أن تعافى من حروقه هاجر إلى الولايات المتحدة حيث قضى بقية سنوات حياته كفقرة عرض فى سيرك بارنوم وبايلى. وفى مكان كارثة عام ١٩٠٢ نجد الآن متحفًا متواضعًا، وأشجارًا تنمو فى أطلال بلا أسقف، ومستوطنة صغيرة قريبة تنامت فى العقود الأخيرة ولكنها لا تحمل أى شبه بالمركز السكانى النابض بالحياة الذى كان يزدهر هنا عند منعطف القرن. فى عام ١٩٠٢ كانت سانت بيير بالمارتينيك جوهرة جزر الهند الغربية الفرنسية، بما فيها من بيوت رائعة ذات طابقين او ثلاثة مسقوفة بالقرميد الأحمر ومطلية بألوان المناطق الحارة الزاهية، وبحدائقها وأفنيتها وخلفياتها من النباتات الاستوائية المورقة. كانت المدينة أبعد من أن توصف بأنها مستوية، وقد نحتت السلالم فى الكثير من شوارعها الأكثر انحداراً، وكانت بعض أجزاء الميناء تنحدر انحداراً شديداً إلى البحر حتى إن السفن الكبيرة كان يمكنها أن ترمى مرساتها على بعد مرمى حجر من الأرض (شكل ٧ ، ١). وتقع عاصمة المارتينيك السياسية فورت دى فرانس على بعد ١٨ كيلو متراً (١١ ميلاً) جنوبياً، إلا أن سانت بيير كانت واقعياً العاصمة الاجتماعية والتجارية، وقد تواصل ازدهار اقتصادها بسبب مصانع السكر العديدة التى تتناثر فى جزيرة مساحتها ٣٢ كم × ٧٢ كم. وها هنا قد ولدت



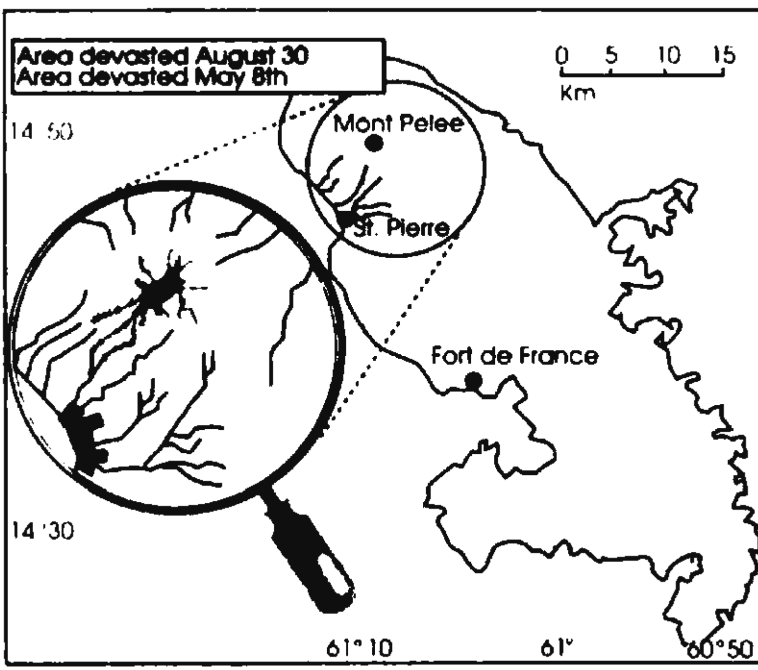
شكل (٧ ، ١) سانت بيير بالمارتينيك فى صورة فوتوغرافية التقطت قبل كارثة ١٩٠٢ بعام أو عامين

جوزفين إمبراطورة نابليون، وكثيراً ما كان يشار إلى المدينة فى فرنسا على أنها باريس الصغيرة". على بعد يقرب من ٧ كيلومترات إلى الشمال جبل مونت بيليه الذى تحتضن قمته بحيرة تعلو سطح البحر بـ١٣٥٠ متراً (٤٤٢٨ قدماً)، وقد وفرت البحيرة مكاناً يُفضَّل شعبياً للاستحمام والنزهة. كان ثمة خمسة وعشرون جدولاً تندفع كالشلالات أسفل منحدرات هذا البركان القديم، وكان العديد منها فى الاتجاه العام إلى سانت بيير. ويصب أحد الأنهار فى البحر إلى الشمال قليلاً من المدينة، بينما يجرى نهر ثانٍ خلال وادٍ منحدر يحد المدينة شمالاً، وهناك جدول آخر أكثر ضحالة واضطراباً يتدفق فى ضجيج خلال وسط المدينة، وقد اصطفت على ضفافه العالية الفيلات الفاخرة. ويبين شكل (٧، ٢) الجغرافيا الأساسية للمنطقة.

فى الساعة ٠٢ : ٨ من صباح ٨ مايو ١٩٠٢ (وقد تأسس هذا الوقت على رسالة مقطوعة فى مكتب تلغراف فورت دى فرانس)، انفجر مونت بيليه انفجاراً كارثياً وأطلق

"زوبعة من النيران" تجاه سانت بيير. وفي خلال دقيقتين من الانفجار ابتلع هذا الهيار(*) من الرماد المتوهج والغازات مدينة سانت بيير، وسوى معظم مبانيها بسطح الأرض، وأشعل النيران في بقاياها. دمر الانفجار ثماني عشرة سفينة كبيرة في الميناء وعدداً لا يُعرف من القوارب الصغيرة. (1) ولم ينج سوى الباخرة البريطانية "رودام" بعد أن عانت من تلف شديد من الحريق وفقدت ثلثي بحاراتها.

وبالمقارنة بالزلازل، فإن البراكين أكثر كرماً بما له اعتباره، من حيث إعطاء إنذار مسبق بالكارثة الوشيكة. ولسوء الحظ فإن قراءة هذه الإنذارات القراءة الصحيحة تماثل محاولة التنبؤ بالوقت الذي سوف يستيقظ فيه نمر نائم بأن نفسر شخير أنفاسه. فأى خطأ في الحكم قد لا نجد معه الوقت للتراجع عنه، ظل مونت بيليه ينام عميقاً بين



شكل (٧ ، ٢) جغرافية المارتينيك والمنطقة المحيطة بسانت بيير بما يبين المناطق التي دمرتها "الحشود الملتهبة" في ٨ مايو و٣٠ أغسطس ١٩٠٢

(*) الهيار : كتل ضخمة من صخر أو ثلج ... إلخ على جانب الجبل (المترجم) .

عامى ١٨٥١ و ١٩٠٢ [٢] وفى ذلك العام الأقدم دفع البركان بسحابة من الدخان والبخار أمطرت سنتيمترات قليلة من سقط الرماد فوق سانت بيير، إلا أنه لم يكن هناك وفيات ولا تلف فى المنشآت، وسرعان ماتعافت النباتات الاستوائية المورقة. ولم ينشط البركان ثانية حتى فبراير ١٩٠٢ ، عندما لاحظ السكان أولاً دمدمة خافتة وبث بخار ضئيل، وتجنب الجميع، فى حكمة، الانطلاق بخيم الاستجمام إلى القمة. واستمر الجبل يرعد فى غير انتظام طيلة الشهور المعدودة التالية، ومن أن لآخر كانت سحب رماد ضخمة تُنفث فى السماء. وفى أواخر أبريل أصبح من الشائع إلى حد ما أن تتسع هذه السحب المتضخمة إلى أحجام تظلم معها شمس الظهيرة. أصبح الهواء الآن يحمل تلك الرائحة لأكاسيد الكبريت التى لا يخطئها أحد، وكان يُعثر على طيور ميتة فى بعض سقط الرماد، وأخذ سكان المدينة يضعون مناديل مبللة فوق أوجههم. وفى ٢٧ أبريل تسلقت حملة صغيرة إلى القمة وعادت لتبلغ أن وهدة سيل، كانت قبلها جافة، تحولت الآن إلى بحيرة ، وأن البركان المرعد قد نمَّى قمع حمم جديد. وبينما أخذت الجياد تسقط ميتة بالاختناق فى شوارع سانت بيير، حطمت سلسة من الزلازل الصغيرة كابلات التلغراف تحت البحر. وفى ٣٠ أبريل، وبدون إنذار سابق، تحولت فجأة الجداول الصغيرة اللطيفة التى تؤدى إلى المدينة فأصبحت سيولاً عارمة، تحمل جلاميد صخر وجذوع شجر من أعلى منحدرات الجبل لتصيب فى مقتل العديد من الضحايا. وفى ٢ مايو، كان سقط الرماد قد تجمع فى أجزاء من المدينة بما يصل عمقه إلى ٤٠ سنتيمتراً (١٦ بوصة)، وأعلنت الجريدة المحلية أن حملة جديدة سوف تتسلق للقمة فى ٤ مايو. وبعدها، قبل منتصف الليل مباشرة يوم ٢ مايو، استيقظت المدينة على سلسلة عنيفة من الهزات الأرضية وومضات البرق الساطعة فى سحب الرماد المحلقة. وبحلول صباح الأحد ٤ مايو، كان الميناء كله مفروشاً بالطيور الميتة، ولم يكن أى من أعضاء الحملة المعلنة قد بلغ به الحمق أن ينفذ خطة تسلق البركان لإلقاء نظرة أقرب على ما يحدث.

هدأ البركان صباح ٥ مايو، ولكن حدث بعد الظهر بزمن قصير (قبل أن يتمكن أى واحد من أن يتنهد كثيراً فى ارتياح) أن تراجع البحر فى الميناء لمائة متر، ثم ارتفع ليغرق منطقة المدينة المطلة على المياه. وتبيَّن فى النهاية أن موجة المياه هذه لم تكن موجة تسونامى تقليدية، وبدلاً من ذلك فإنها فيما يبدو قد نتجت عن انهيار أحد

الجدران الداعمة لبحيرة فوهة البركان عند القمة. واندفعت تهبط من إحدى الفتحات موجة متدفقة راعدة من مغلي الماء والوحل، وهي تجر وراءها ذيلا كثًا هائلاً من البخار، ودمرت أكبر مصنع للسكر على الجزيرة، ودفنت ١٥٠ من الضحايا في وحل بلغ ارتفاعه ١٠٠ متر، وذلك قبل أن يضرب الهيار الميناء. وأغلب الاحتمال أن ارتداد مياه الميناء قد سبقه ارتفاع فيها لم يسجل في روايات الناجين.

عند هذا الحد كانت المدينة قد أصبحت جحيماً، واللاجئون يتجمعون داخلين من الضواحي وهم يصطدمون في الشوارع الضيقة بسكان المدينة الذين يحاولون إخلاءها. واستدعى المحافظ لجنة من الخبراء (يبدو أن مسوغات تأهيلهم للاجتماع لم تسجل) لإصدار توصية عما إذا كان ينبغي إخلاء المدينة. وأبلغ هؤلاء الخبراء بأن، "المواقع النسبية لفتحات البركان والوديان التي تصب تجاه البحر تجيز الاستنتاج بأن سلامة سانت بيير ليست مهددة". ومن الواضح أن استدلال اللجنة كان أن التيار الرئيسي للابة (*) سوف يُوقف ويُحول عن طريقه و/ أو يتخذ لنفسه قنوات في وهاد شمال المدينة، وأن سقوط الرماد المستمر الآن لا يزيد عن أن يكون أمراً مزعجاً. كان للحاكم ما هو أكثر من مصلحة عارضة في إبقاء سكان سانت بيير في مواقعهم، فقد كان هناك انتخاب سيجرى في ١٠ مايو، والأفراد الذين يهجرون بيوتهم لايضعون الانتخاب في قائمة أولوياتهم الشخصية. وحتى يغرس الحاكم (موتيه) ثقة الجمهور في تقرير الخبراء، انتقل هو وزوجته من فورت دي فرانس إلى سانت بيير وذلك في السادس من مايو. كان هذا قراراً سيئًا؛ فبعدها بيومين مات الاثنان حرقًا ومعهما باقي الثلاثين ألفًا من السكان. فالبراكين لا تنحو إلى إظهار الكثير من الاحترام للمشاغل السياسية للبشر.

في الساعة الرابعة صباحًا من ٧ مايو- آخر أيام سانت بيير- أخذ مونت بيليه يرعد. وظل البرق يومض ومضًا متصلاً حول القمة، ونفثت فتحتان في البركان نافورتين عملاقتين من الجمر المتوهج في السماء قبل الفجر. وأصبح البحر المحيط بالمدينة مسوداً بالرماد. وزاد عدد الأفراد الذين فروا من المدينة، بينما احتشد فيها

(*) اللابة جمع لاب ، وهي حمم من صهير الصخر تسيل من فوهة البركان (= اللافا) (المترجم) .

المزيد من اللاجئين، وفاض عدد اللاجئين بما زاد بالفعل من عدد من شملتهم القائمة النهائية للموتى. وفى اليوم الأخير الذى دارت فيه مطابع الجريدة المحلية كُتب فى مقالها الافتتاحى "وهل يمكن أن يكون المرء فى مكان أفضل من سانت بيير؟" إلا أن قبطان باخرة إيطالية لم يتأثر بهذا المقال وسارع بالإقلاع لعرض البحر بعد أن شحن فحسب نصف بضاعته. كانت ميناؤه فى الوطن هى نابولى التى تقع فى ظل جبل فيزوف - البركان الشهير الذى دفن مدينة بومبى فى ٧٩ ميلادية. ولم يكن هذا القبطان ليأمن على حياته بناء على ما يقوله الخبراء المحليون، كان يعرف تمامًا أى دمار يمكن أن ينطلق من بركان يرعد.

حدث الانفجار الجائح فى ٨ مايو وكان مرئيًا من فورت دى فرانس، ومن عدة قرى جبلية تقع خارج المسار المباشر للتفجر، ومن العديد من السفن التى كانت فى البحر بما يتجاوز الميناء. قد تختلف الروايات فى التفاصيل الصغيرة (وخاصة بشأن التوقيت)، إلا أنها تتفق اتفاقًا جوهريًا فى توصيفها العام لما حدث فى ذلك الصباح الرهيب.

وقع تفجران اثنان هما فى الواقع متزامنان. انفجر أحدهما إلى أعلى مباشرة نافثًا سحابة هائلة من الرماد إلى الجو لمسافة ١١٠٠٠ متر (٧ أميال). وكان الانفجار الثانى "حشد ملتهب" أو تدفق من فلذ بركانية (*) تفجرت لتنساب أسفل المنحدر الجنوبى الغربى لجبل مونت بيليه بسرعة تبلغ حوالى ١٩٠ كيلو مترًا فى الساعة (١٢٠ ميلاً فى الساعة). أخذت هذه السحابة من الغاز والرماد فائقى الحرارة تندفع محتضنة الأرض، وفى دقيقتين أو أقل (٢) ابتلعت كل شىء يقع بين البركان والمدينة، وكان سطح صدرها كتلة نفاثة تتأجج فى بعض المواضع بحرارة فائقة حتى إنها كانت تتوهج ساطعة. ولم تفد الوهاد التى فى شمال المدينة أى فائدة فى تحويل اتجاه هذا التفجر، وكان من المستحيل تمامًا على أى فرد أن يفر منه. وأدى الاصطدام بالفلذ البركانية إلى تهاوى جدران حجرية فى سانت بيير سمكها متر بالكامل، كما أدى إلى انقلاب البواخر الكبيرة فى الميناء. وأدت الحرارة العالية (وتقدر بما بين ٧٠٠ إلى ١٢٠٠ م)

(*) مقذوفات البركان الحرارية (المترجم).

إلى أن يموت حرقًا معظم الضحايا فى التو، بينما اشتعلت فتات المدينة والأسطح الخشبية للسفن التى مازالت طافية. وما إن تم مرور تدفق الفلذ البركانية حتى ارتفعت رياح عاصفة إلى الاتجاه المضاد، وكأنما هناك فراغ هائل يجب ملؤه. وجلبت هذه الرياح هواء طازجًا مكان الغازات البركانية فزادت من تأجج النيران. وتراقصت ومضات هائلة من الرعد فى سحب الرماد فوق المدينة الخربة، وهطل المطر لساعة تلت ذلك، فتدثر كل شيء بمعجون سميك من الوحل البركاني. ولكن حتى هذا المطر لم يستطع إطفاء الحرائق الواسعة الانتشار، وظل دخانها يتصاعد طيلة أربعة أيام بعد ذلك.

أُرسلت من فورت دى فرانس سفينة مليئة بأفراد رسميين وعسكريين، ووصلت إلى سانت بيير حوالى الساعة ٣٠ : ١٢ مساء، فى أقل من خمس ساعات بعد الكارثة. كان الميناء الآن بحرًا صغيرًا من الرماد البركانى الطافى، تتناثر فيه بقايا السفن المشتعلة والمقلوبة ومئات من الجثث المتفحمة. وتم التقاط عدد من البحارة وركاب السفن من المياه وهم أحياء، إلا أنه بسبب حروقهم لم ينج حيًا فى النهاية سوى القلة من هؤلاء الضحايا. وكان سطح الأرض على الشاطئ جد ساخن بما أفشل كل محاولات الرسوّ عليه لساعات عديدة. على أنه فى هذا الوقت، لم يكن هناك أى حاجة ملحة للنزول إلى الشاطئ، ذلك أن المشهد من فوق سطح السفينة جعل من الواضح بالفعل أن مدينة سانت بيير لن تكون فى حاجة لأى غوث عاجل. هلك ثلاثون ألفًا، ولم يتبق أى مما يُنقذ أو حتى يُنتشل. وعلى كل، فإن الباحثين توصلوا فى النهاية إلى أن يطأوا الأرض بالفعل ليجوسوا بين الأطلال باحثين عن الناجين أحياء، ووجدوا الأفراد الثلاثة الذين ذكرتهم فيما سبق. وشكل ٧، ٣ فيه صورة فوتوغرافية معاصرة لما حدث من دمار، وجبل مونت بيليه فى الخلفية منها.

على الرغم من أن الكارثة كانت قد اكتملت بالنسبة للبشر فى سانت بيير، إلا أن الحدث الجيوفيزيائى لم يكن قد اكتمل بعد . وفجر مونت بيليه قمته ثانية بعد ذلك بأسبوعين (٢٠ مايو) فأسقط الجدران القليلة التى بقيت منتصبة فى المدينة. وبعدها، فى ٣٠ أغسطس ١٩٠٢ أرسل البركان تدفقًا آخر من الفلذ البركانية اتجه إلى الشرق بعض الشيء وأحرق قرية مورن روج والعديد من الكفور المجاورة، بما أدى إلى وفاة ١٥٠٠



شكل (٧ ، ٣) دمار سانت بيير، في صورة فوتوغرافية التقطت بعد كارثة عام ١٩٠٢ بزمن قصير.
(الصورة بإذن من مكتبة الكونجرس)

إلى ٥٠٠٠ نسمة أخرى. وفيما يبدو فإن هذه التفجرات الأخيرة كانت تساوى عنفًا حدث ٨ مايو أو تفوقه. فى أكتوبر، سجل المراقبون عموداً من اللابة قطره ١٥٠ متراً (٥٠٠ قدم) ينمو من قاع فوهة بركان بيليه بسرعة تصل إلى ١٠ أمتار فى اليوم، وهذه سرعة مذهلة لأى ظاهرة جيولوجية. وقد وصل "برج بيليه" هذا إلى ارتفاع ٣١١ متراً (١٠٢٠ قدمًا) قبل أن يتقلص ليأخذ فى النمو ثانية، وتزايد فى أحد

(٣١ أغسطس ١٩٠٢) بما سُجل بأنه ٢٤ متراً (٧٨ قدمًا)! وبعد عام ١٩٠٤، تحلل البرج وأصبح لا يزيد عن بقايا جذع وسط كوم من الأنقاض. وعندما تتكون قبة من اللابة هكذا يكون ذلك عادة إشارة إلى أن البركان في آخر مراحل انفجاره، حيث تكون كل الغازات التي يمكنها أن تسبب انفجاراً رئيسيًا قد تم بالفعل طردها من صهارة الصخر الساخنة في تجويف ما تحت الأرض.

على أنه حدث في ١٦ سبتمبر ١٩٢٩، أن أخذ مونت بيليه يدمدم مرة أخرى، وأطلق ثانية عدة تدفقات من الفلذ البركانية. وفي هذه المرة لم يفقد أحد حياته، لأن كل الألف فرد المقيمين قرب الجبل اهتموا في حكمة بالنذر المسبقة وأخلوا ديارهم، وفي أواخر عام ١٩٣٢ عاد البركان إلى الهدوء ثانية. وظل من وقتها ساكنًا.

جزيرة سانت فينسنت، ١٩٠٢

أحد الجوانب الغريبة في انفجار مونت بيليه المميت يوم ٨ مايو ١٩٠٢، هو أن كارثة بركانية أخرى تكاد تتطابق معه قد أدت إلى وفاة ١٣٥٠ نسمة على بعد يبلغ فحسب ١٦٠ كيلو متراً (١٠٠ ميل) وكان ذلك "قبله بيوم واحد لا غير". ففي الساعة الثانية مساء من ٧ مايو ١٩٠٢، تفجر الجبل البركاني لاسوفريير ودمر ١١٥ كيلو متراً مربعًا (٤٨ ميل مربع) من الطرف الشمالي لجزيرة سانت فينسنت. وكان ميكانزم الدمار مماثلاً سحابة تحتضن الأرض من غازات فائقة السخونة تنتشر بسرعة تقصف الرقاب، و "حشد ملتهب" أو تدفق من الفلذ البركانية.

لم يحدث بين سنوات ١٦٠٠ و١٩٠٢ سوى انفجارين بركانيين كبيرين في كل جزر الأنتيل الصغرى، وكان الانفجاران كلاهما في جبل لاسوفريير بجزيرة سانت فينسنت. وفي ١٧١٨ أدى هذا البركان إلى أن يخنق بالدخان كل الجزيرة هي ومساحة كبيرة من البحر المحيط بها بسبب سقط رماد هائل. وفي انفجار ١٨١٢، نفث لاسوفريير قدراً كبيراً من الرماد في الجو بحيث غمر المدينة في ظلام كامل طيلة يوم بأسره، وعندما امتلأت فوهة البركان في تفجر عام ١٨١٢ بمياه الأمطار، تحولت إلى بحيرة يقرب قطرها من كيلومتر واحد وعمقها من ١٧٥ متراً ويرتفع سطحها ١٠٠٠ متر

(٣٥٠٠ قدم) فوق سطح البحر- وهى بحيرة تماثل مماثلة مذهلة بحيرة فوهة بركان مونت بيليه.

بدأ لاسوفريير ينشط ثانية فى أبريل ١٩٠١، فى زمن يسبق بعشرة شهور أول إشارات لتجدد نشاط مونت بيليه. ومع بداية مايو، كان معظم المقيمين فى ظل لاسوفريير قد رحلوا فى حكمة إلى الطرف الجنوبى من سانت فينسنت. وعند الساعة ٣٠ : ١٠ صباحًا من يوم ٧ مايو، أصبحت ضجة الانفجار مما يكاد يكون زئيرًا متواصلاً، ونُفثت سحابة بخار هائلة لأعلى إلى ارتفاع وصل لأكثر من ٩٠٠٠ متر (٣٠٠٠٠ قدم). وعند الساعة الواحدة مساء أمكن رؤية جلاميد فى السحابة محمولة بالهواء، وتحول فجأة ما كان طبيعيًا مجرى لنهر جاف إلى سيل عارم من مغلى الوحل والماء عمقه أكثرمن ١٥ مترًا (٥٠ قدمًا). ووضع هذا اللاهار (*) نهاية لأى أمل فى المزيد من الإخلاءات من الجانب الشرقى للجزيرة إلى الجنوب.

بعد ذلك بساعة، ثار لاسوفريير مطلقًا "الحشود الملتهبة" التى أدت إلى أن يموت حرقًا ١٣٥٠ ضحية بشرية. وبخلاف مونت بيليه، فإن انفجار لاسوفريير المدمر انطلق للخارج مكتسحًا كل الاتجاهات من البركان (وهذه حقيقة تأكدت فيما بعد من النمط الشعاعى لسقوط الأشجار)، وكنتيجة لذلك يبدو أن طاقته قد تبددت بسرعة أكبر. والحقيقة أن الجزء الشرقى من تدفق الفلذ البركانية ربما يكون قد توقف وعكس اتجاهه ليرتد ثانية إلى البركان، وقد ساقه اندفاع الهواء للداخل متدفقًا إلى الفراغ الجزئى الذى خلَّفه الانفجار وراءه. ورغم هذا التشتت السريع، فإن "الحشد الملتهب" قد خلف تجمعات هائلة من الرماد، ظلت أجزاء منها ساخنة لأسابيع. وتواضع قائمة الوفيات فى سانت فينسنت بعدد من ١٣٥٠ (بالمقارنة بعدد ٣٠٠٠٠ فى سانت بيير) يعكس مصادفة جغرافية، هى عدم وقوع أى مدينة كبيرة على المسار المباشر لأكثر الأجزاء شدة من تدفق الفلذ البركانية. واستمر البركان يتفجر متقطعًا خلال شهر مايو، ثم مرة ثانية من أول سبتمبر ١٩٠٢ حتى الثالث منه. ثم ظل هادئًا نسبيًا حتى السبعينيات.

(*) اللاهار كلمة معربة عن الأندونيسية تعنى الانسياب الوحلى البركانى. (المترجم) .

ما الدور الذى لعبته كارثة سانت فينسنت فى إنذار سكان سانت بيير على بعد أقل من ١٦٠ كيلو متراً إلى الشمال؟ من الواضح أنها لم يكن لها مطلقًا أى دور من هذا النوع. فاللغات مختلفة (الفرنسية فى المارتينيك والإنجليزية فى سانت فينسنت)، وعلى كل حال فإن معظم كابلات التلغراف تحت البحر فى كلتا المنطقتين كانت مقطوعة بفعل الزلازل. هل يمكننا أن نربط الحدثين جيوفيزيائيًا؟ نعم، من حيث تكتونيات الألواح فى المنطقة، ولا، من حيث حقيقة أنهما حدثا بفارق من يوم واحد لا غير. ففى الزمان الجيوفيزيائى يكون الفارق صغيراً بين يوم واحد وقرن واحد. على أننا يمكننا أن نخمن تخمينًا معقولاً بأن مونت بيليه ولاسوفريير كلاهما قد أطلقا معًا طاقة من نفس المصدر التكتونى، وأنه لو كان هناك فى المنطقة بركان واحد نشط وقتها بدلاً من بركانين، فإن الانفجار البركانى المنفرد ستكون مرتبته أعظم بما له قدره من مرتبة أى من الحدثين التاريخيين.

لاتوجد إلا أدبيات علمية قليلة نسبيًا عن حدث سانت فينسنت عام ١٩٠٢، ومن الواضح أن سبب ذلك هو أن العلماء وقتها قد شُدوا بتأثير الخسائر البشرية الأعظم التى حدثت من دمار سانت بيير فى اليوم التالى. ونحن بالاستفادة من التأمل وراء، يمكننا أن نعد هذا كفرصة ضاعت على العلماء المعاصرين للمقارنة، وكشف التباين بين ما وُثق من إنذارات مسبقة ونتائج فى هذين الحدثين جد المتشابهين [٤]. ولم يحدث قط من قبل ولا من بعد أن سبب بركانان منفصلان مثل هذا الهلاك البشرى فى تقارب وثيق كهذا فى المكان والزمان.

آليات البركانية

الكوارث البركانية الكبرى نادرة نسبيًا فى سياق الأحداث البشرية؛ والحقيقة أن هناك عدداً قليلاً تمامًا من المدن الكبيرة ظلت قائمة بلا ضرر لقرون كثيرة وهى فى ظل بركان نشط. وعلى نطاق العالم، لا يوجد إلا حفنة من الانفجارات الكبرى فى أى سنة نمطية، وهى تحدث عادة فى مناطق ضئيلة فى عدد السكان. والبراكين فى أرجاء الكرة

الأرضيـة لا تؤدى إلى مـوت ضـحايا من البشر إلا لمرات مـعدودة فى العقد الواحد، ولا تؤدى إلى دمار كبير إلا لمرات معدودة فى كل قرن. ولكنها عندما تفعل ذلك، يكون فى الحدث هول له قدره - فما من شىء على الأرض يفوق البركان الهائج فيما يسببه من دمار بلا تمييز.

والعلماء عادة يعدون البركان نشطًا إذا كان قد تفجر فى آخر عشرة آلاف عام، وهذه على نحو تقريبى فترة الزمان منذ آخر عصر جليدى، وحسب هذا المعيار، فإن هناك ما يقرب من ١٣٤٣ بركانًا نشطًا فوق سطح البحر [٥] وعدد لم يحص تحت المحيطات وإن كان بلا ريب قريبًا من ذلك. ويسكن اليوم عدد من الأفراد لا يقل عن ٥٠٠ مليون فرد فى أماكن قريبة من هذه البراكين قربًا كافيًا لأن يهدد انفجارها حياتهم. وفى الوقت نفسه هناك أدلة على أن بعض البراكين قد تظل نشطة على نحو متقطع لمايصل إلى ١٠ ملايين سنة. ومن المستحيل الجزم بالتأكيد على أن أى بركان يكون خامدًا تمامًا.

وأكثر البراكين عنفًا توجد فى مناطق العالم الأكثر عرضة للزلازل: حول حافة المحيط الهادى، وبطول قوس يمتد من البحر الأبيض المتوسط إلى إيران ويستمر (بعد ثغرة) خلال أندونيسيا حتى غرب الهادى. ونظرية تكتونيات الألواح تساعد على إيضاح هذه الصلة المرصودة بين الزلازل والبراكين. سنجد بالقرب من الحد الذى ينزلق عنده أحد ألواح القشرة تحت الآخر، أن اللوح المرفوع تصبح له الحرية لترييح إجهاده من خلال الزلازل بينما اللوح الأسفل الرافع يتعرض لإجهاد ضغط يتزايد أبدًا (على عمق قرابة ١٠٠ كيلو متر) ويبدأ فى أن يصبح سائلاً. وأى نقطة ضعف فى اللوح الذى يرتفع ستوفر ممرًا للصخر والمصهور للوح الرافع لترييح ضغطه بالانسياب لأعلى إلى السطح. والنتيجة هى "بركان رفع" يحدث عمومًا داخل الأرض على بعد يقرب من ٢٠٠ كيلومتر من حد الألواح التكتونية المتصادمة. وتتميز هذه البراكين بمخاريط طويلة من الرماد وفترات طويلة من السكون تقطعها انفجارات عنيفة. ويقع فى هذه الفئة مونت بيليه ولاسوفريير وكراكاتاو (الذى سنناقش أمره سريعًا).

وثمة بركان من نوع آخر ينشأ عند الحدود التى تتحرك عندها ألواح القشرة الأرضية فى اتجاهات مضادة. وهذه المناطق، حيث القشرة تنشق ببطء فى اتجاهات

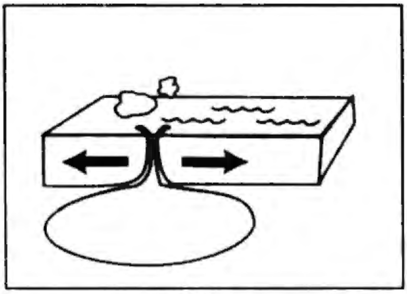
مضادة. تسمى "الخسوف"؛ وعندما ينفتح خسف ترتفع الصهارة من داخل الأرض لتملأ الفتحة في تدفق لطيف نسبيًا. و"براكين الخسف" توجد أساسًا في أيسلندا، وبطول خط من الشمال إلى الجنوب تحت منتصف الأطلنطي، وفي وادي الخسف، في شرق أفريقيا. وبراكين الخسف تنفث قدرًا كبيرًا من مصهور اللابة وقدرًا صغيرًا فحسب من الرماد المحمول بالهواء ولا يخرج منها أي تدفق من الفلذ البركانية. وهي نادرًا ما تقتل، وإنما تدمر بالفعل الممتلكات.

هناك نوع ثالث وهو: "بركان النقطة الساخنة". والمثل الكلاسيكي له يمكن رؤيته في جغرافية سلسلة جزر هاواي. إذا نظرنا إلى خريطة هاواي، سنجد خيطًا من الجزر يجري من الجنوب الشرقي إلى الشمال الغربي، وهذا نفس اتجاه حركة اللوح الباسيفيكي. والجزر الشمالية الغربية هي الأقدم جيولوجيًا، وجبالها البركانية لم تثر لملايين السنين. بينما الجزيرة التي في أقصى الجنوب الشرقي من هاواي فيها بركانان نشطان، أحدهما (كيلاوي) هو أكثر براكين الأرض نشاطًا متصلاً. وتجاه الشاطئ بركان آخر إلى الشرق يعمل بنشاط تحت البحر ليبني جزيرة جديدة في سلسلة جزر هاواي، وهي فيما يحتمل سوف تنبثق فوق سطح المحيط خلال قرون معدودة. والنمط الجغرافي هنا عند منتصف المحيط الهادي (الباسيفيك) يطرح أن هناك حقًا "نقطة ساخنة" تحت اللوح الباسيفيكي تقتحم طريقها خلال قشرة ما تحت البحر أثناء انزلاق اللوح المستمر إلى الشمال الغربي.

هذه الأنواع الثلاثة من البراكين (الرفع والخسف والنقطة الساخنة) معروضة في الرسوم التوضيحية والصور الفوتوغرافية في شكل (٧ ، ٤) . ومن بين هذه الأنواع الثلاثة، فإن نوع الرفع هو أخطرها إلى حد بعيد، وإمكانات قوة انفجاره تنتج عن حقيقة أن المادة المقذوفة تأتي من أعماق غائرة داخل الأرض. وعندما يكون الضغط كبيرًا بما يكفي، يكون لصهير الصخر القدرة على الاحتفاظ بكميات كبيرة من الغازات الذائبة مثل ثاني أكسيد الكربون والبخار وثاني أكسيد الكبريت. وعندما ترتفع هذه الصهارة من خلال فتحة بركانية، يحدث ترييح للضغط، وتفور الفقاقيع مع الغازات الذائبة خارجة تو اللحظة تقريبًا. وانفجار بركان رفع فيه الكثير مما يماثل الضرب بقوة على قمة علبة جعة دافئة بعد رجها، فيما عدا أن البركان يفوق الجعة بمراتب كثيرة من حيث إنه أكبر وأسخن.

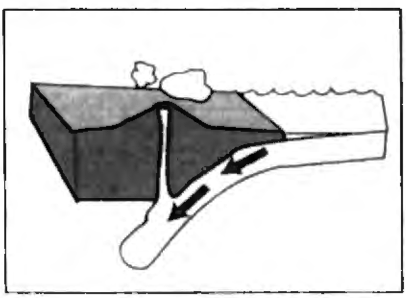
يعرف الآن علماء علم البراكين قدراً معقولاً عن العمليات التى تجرى تحت الأرض وتدفع إلى انفجار البركان، وهم مثل علماء الزلازل، يناضلون نضالاً باسلاً لإنشاء





Rift
خسف

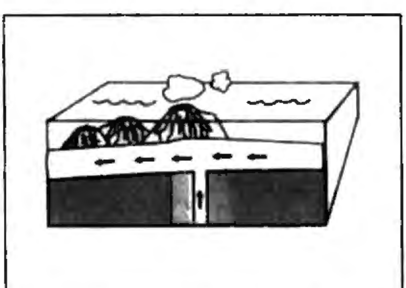




Subduction

رفع





Hot spot

نقطة ساخنة

شكل (٧ ، ٤) براكين من نوع الرفع والخسف والنقطة الساخنة
(الصورة الفوتوغرافية بإذن من المركز القومى للبيانات الجيوفيزيائية)

نظريات تمكنهم من إصدار إنذارات مسبقة للمراكز السكانية المعرضة للبراكين. وحتى الآن، فإن سجل إنجازاتهم فيه خلط. عندما أخذ لاسوفريير يدمدم فى وقت قريب فى ١٩٧٥، تنبأ علماء البراكين بعرض مكرر لكارثة عام ١٩٠٢، وأخلى الرسميون ٧٢٠٠ فرد لفترة ثلاثة شهور. إلا أن البركان أصابه الموات بدلاً من أن ينفجر. ومن الناحية الأخرى فإن الإنذارات المشابهة التى وصلت للرسميين الكولومبيين فى سنة ١٩٨٥ لم تكن فى الظاهر قوية بما يكفى، وتفجر بركان نيفادو ديل ريز، تمامًا مثل ما تنبأ به علماء كثيرون، ومات ٢٢٩٤٠ فرداً فى تدفقات اللاهار. وكان هناك تنبؤ ناجح عن بركان كولو فى أندونيسيا، حيث حدث خلال أسابيع بعد إخلاء كل السكان السبعة آلاف فى عام ١٩٨٣ أن تفجرت بالفعل قمة البركان حقيقة بما دمر الكثير من الجزيرة الدقيقة الصغر عن طريق تدفق الفلذ البركانية، وإن لم يؤد الانفجار إلى أى ضحايا من البشر.

تأثير الانفجارات

البراكين يمكنها إنزال الخراب باستخدام حيل كثيرة لُخصت فى جدول (٧، ١)، وأول ظاهرة ذكرت فى الجدول هى سقوط الرماد، وهى وإن كانت لا تبدو بالذات ظاهرة لها خطرها، إلا أن الرماد المحمول فى الهواء قرب مصدر الانفجار يكون عادة ساخنًا ورطباً، ويلتصق بكل شىء حتى يصبح جامداً؛ كما أنه يمكن أيضًا أن يكون حمضياً بالدرجة الكافية لأن يسبب حروقًا حمضية للحم البشرى المكشوف. وسقط الرماد قد يكون أيضًا مصحوباً بتركيز كبير من ثانى أكسيد الكربون الذى ينتشر خفية على الأرض ليخنق الضحايا قبل أن يدفنهم الرماد نفسه. وأثناء إجراء حفريات بومبى فى إيطاليا فى القرن التاسع عشر، اكتشف الأثريون تجاويف مفزعة خلال الرماد الجامد، فملئوها بالجص قبل أن يواصلوا الحفر، وإذ فعلوا ذلك فإنهم شكلوا قوالب لعشرات الضحايا من البشر، تحفظ وضعهم كما كانوا لحظة موتهم منذ ما يقرب من ألفى عام خلت. وكان الكثيرون منهم قد وضعوا أيديهم أو قطعًا من القماش فوق أفواههم، فى محاولة واضحة لاتقاء الاختناق بالغبار والغازات. واكتُشف طعام لم يؤكل فوق الموائد

فى البيوت بما يطرح أن عدداً ليس قليلاً من سكان بومبى فى سنة ٧٩ ميلادية ظلوا يعيشون كالمعتاد حتى آخر لحظة فى النهاية، مفترضين على وجه الخطأ أن الشىء القليل من سقط الرماد والغاز من جبل مونت فيزوف ليس فيه ما يثير القلق.

جدول ٧ ، ١ الظواهر البركانية التى تولد كوارث بشرية

الظاهرة البركانية	النموذج الأصلى للكارثة
سقط الرماد	٧٩ ميلادية. أدت ثورة مونت فيزوف إلى دفن مدينة بومبى الرومانية تحت ما يصل لعشرة أمتار من سقط الرماد مما سبب هلاك ١٠٠٠٠ نسمة.
تدفق اللابة	١٩٤٣ انبثق بركان جديد من حقل ذرة جنوب غرب المكسيك، وخلال عامين دمرت تدفقات اللابة مدينتى باريكوتين وسان خوان دى بارانجار يكوتيرو.
تدفق الفلذ البركانية (الحشد الملتهب)	١٩٠٢ تفجر غازى من مونت بيليه بالمارتينيك، أحرق مدينة سانت بيير وقتل ٣٠٠٠٠ فرد.
انزلاقات وحل/فيضانات (لاهار)	١٩٨٥ فى نيفادو ديل ريز بكولومبيا. ولدت حرارة البركان هياراً من الوحل وذوب مياه ثلجية أدى إلى قتل ٢٢٩٤٠ فرد فى مدن تبعد عن المصدر بما يصل إلى ٥٠ كم.
موجات تسونامى	١٨٨٣ انفجار كراكاتاو فى مضايق سوندا غرب جاوه ولد موجات تسونامى قتلت ٣٦٠٠٠ فرد.
طقس شامل للكرة الأرضية	١٨١٦ حدثت "سنة بلا صيف" فى نيوإنجلند وغرب أوروبا نجمت عن انفجار فى العام السابق لبركان تامبورا فى سومبارا بإندونيسيا. والحدث المباشر أدى إلى قتل ١٢٠٠٠، أما المجاعات التى نتجت فأدت على الأقل إلى هلاك ٩٠٠٠٠ نسمة فى أرجاء الكرة الأرضية.

عندما تُذكر كلمة "بركان"، تتحول أذهان معظم الناس إلى تصور تدفق اللابة، تلك الأنهار من صهير الصخور الساخنة حتى الاحمرار على نحو مثير. على أن تدفق اللابة نادراً ما يتحرك بالسرعة الكافية لأن يباغت الضحايا من البشر، واللابة ما إن تغادر فوهة البركان حتى تتبع الأرض في مسارها، بحيث إن هذا المسار أسفل السفح هو ما يمكن التنبؤ به إلى حد معقول. ومع ذلك فإن اللابة جد مدمرة للمنشآت البشرية ولأراضي المزارع التي تقع في مسارها. ومع اقتراب اللابة المتدفقة، فإنها تشعل الحرائق في أي مما يقبل الاشتعال؛ ثم إنها تبتلع ما يتبقى وتجعل كل شيء جامداً داخل كتلة من صخر أسود مسنون. وفي حالات قليلة تم بنجاح تحويل اتجاه تدفقات اللابة البطيئة الحركة برش حافتها المتقدمة بالمياه لتتصلب اللابة في سد، بينما يُشق مسار بديل بالبلدوزر ليتبعه ما بقي من تدفق. على أن هذه الإستراتيجية تتطلب جهداً هندسياً له قدره (ومن الواضح أنها تتطلب إعداداً مسبقاً)، وهذا الجهد لا يكون بدون مخاطر على البشر. وفي معظم الحالات يكون من غير المفيد تماماً، ومن الخطر أن نحاول الاحتفاظ بأرضنا إزاء تدفق لابة يقترب منا.

تدفق الفلذ البركانية أو "الحشود الملتهبة"، هو كتلة نفاثة من غاز فائق السخونة وجسيمات رماد معلقة تتمدد متفجرة بسرعة هائلة (تصل إلى مئات عديدة من الكيلومترات في كل ساعة). ولما كان متوسط كثافتها أكبر من كثافة الهواء المحيط، فإن الحد السفلي لتدفق الفلذ البركانية يجري بطول الأرض، ليصرع ويحرق كل شيء في طريقه. وتدفقات الفلذ البركانية معروف عنها أنها تنتقل فوق المياه لمسافات لها قدرها، لتنشر التأثيرات المدمرة لتفجر البركان من جزيرة للأخرى. ونحن نعرف أن هذه الظاهرة تصاحب فقط براكين الرفع، ولكن التفجرات من نوع الرفع لا تولد كلها تدفق الفلذ البركانية. وحتى مع ذلك، فإن احتمال وقوع تدفق فلذ بركانية لهو احتمال يلزم اعتبار أمره اعتباراً جدياً جداً في أي وقت يبدأ فيه تفجر بركان رفع.

انزلاقات الوحل وفيضانه (اللاهارات) هي من الآثار الجانبية المحتملة لثورات البراكين. وإذا كان للبركان غطاء ثلجي يذوب في الحرارة قد تنحدر السيول كالشلال من الماء المشبع بالرماد فوق منحدرات البركان. وإذا كانت هناك بحيرات في الارتفاعات العليا، فإن الزلازل المصاحبة للانفجار يمكن أن تسبب كسراً في السدود

الطبيعية التي تحجز المياه. وقد يحدث دمار عظيم عند الارتفاعات الأدنى كنتيجة للانطلاق المفاجئ لخزان طبيعي أعلى التيار كان قائمًا في فوهة البركان.

إذا حدث انفجار بركاني عند سطح البحر، فإن جزءًا له اعتباره من الطاقة المنطلقة ينتقل دائمًا إلى مياه البحر في شكل تسونامي. وقد نظرنا من قبل في حالة انفجار ثيرا عام ١٦٢٦ ق. م.، وسوف ندرس سريعًا حالة أخرى: انفجار كراكاتاو في ١٨٨٣ ميلادية. والبركان عندما يطلق موجات تسونامي يستطيع إلحاق دمار هائل على بعد مئات الكيلومترات من مصدر الانفجار.

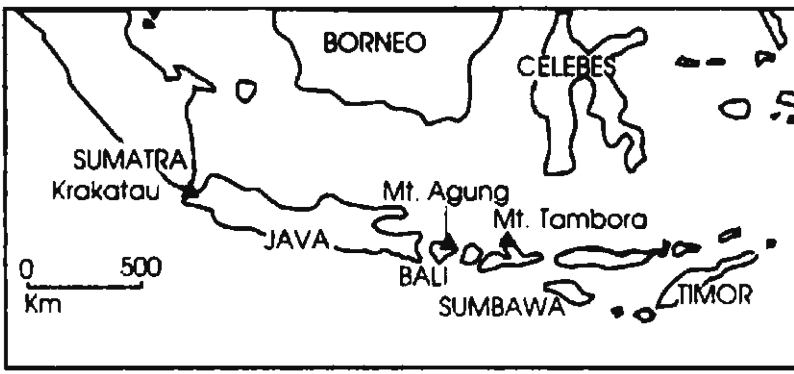
على أن تأثيرات البركان قد تصل حتى لأبعد من موجاته التسونامية. فحيثما كان البركان نشطًا بما يكفي لنفث الرماد في الإستراتو سفير (*) ، فإن تيارات الأرض النافثة تحرك الجسيمات الدقيقة حول الكرة الأرضية، ويظل كل واحد في نصف الكرة المتأثر بالحدث (النصف الشمالي أو الجنوبي) وهو يشهد في فترة من عدة شهور تالية حتى عام كامل، مشهداً مثيراً للغروب المفعم بالألوان. فعندما تُحقن طبقات الجو العليا بالجرعة الكافية من هذا الرماد المحمول بالهواء، تأخذ هذه الطبقات في أن تعكس وراء في الفضاء قدراً كبيراً من ضوء الشمس كبراً غير معتاد، بما يفسد من توازن طاقة كوكبنا. ثم ينخفض متوسط درجة حرارة الكرة الأرضية، وتتغير أنماط المناخ بطرائق معقدة، وتتعرض بعض المناطق لفشل المحاصيل والمجاعة، بينما يحدث في مناطق أخرى زيادة في سقوط الأمطار أو طقس أكثر اعتدالاً. وهذه التأثيرات الخاصة بهذه المنطقة أو الأخرى، يستحيل أن نتنبأ بها من نماذجنا العلمية الحالية المنقوصة عن المناخ. أما ما نعرفه فهو أن: الانفجار البركاني الكبير له القدرة على أن يؤثر في نسبة لها قدرها من سكان الأرض. ونحن نعرف ذلك لأنه قد حدث بالفعل في السنوات التي تلت مباشرة عام ١٨١٥ .

تامبورا ١٨١٥

يهيمن جبل مونت تامبورا على الطرف الشمالي البعيد لجزيرة سومباوا، وهي إحدى جزر الخيط الضخم من الجزر الأندونيسية الذي يمتد من سومطرة غربًا إلى

(*) طبقة الجزء الأعلى من الغلاف الجوي ، وتمتد لأعلى حوالي ٢٤ كم فوق الأرض .

غينيا الجديدة في الشرق. وهذه السلسلة من الجزر الاستوائية (شكل ٧، ٥) تتعرض لنشاط بركاني شديد يمتد بكامل طولها الذى يبلغ ٥٠٠٠ كيلو متر (٣٠٠٠ ميل)، وهذا النشاط نتيجة ما يحدث من رفع للوح الهندى الذى يتحرك فى اتجاه الشمال الشرقى أسفل اللوح الصينى الذى يتحرك تجاه الجنوب الشرقى. وعندما أذعن مونت تامبورا لهذه الإجهادات التكتونية القاسية فى ١٣ أبريل ١٨١٥، تفجر الجبل بأشد التفجرات البركانية عنفًا فى كل الزمان التاريخى، ولعله الأشد عنفًا فى آخر عشرة آلاف عام.



شكل (٧ ، ٥) أندونيسيا ذات النشاط البركاني. المنطقة المبينة هنا فيها على الأقل خمسون بركانًا نشطًا

وحتى في يومنا هذا، سنجد أن المنطقة من حول مونت تامبورا مازالت جزءًا غامضًا من العالم. أما في عام ١٨١٥، قبل اختراع التلغراف بزمن طويل، فكان السكان المحليون معزولين تقريبًا عزلاً كاملاً عن المراكز السكانية الرئيسية في العالم. ولم يحدث قط أن أُجرى تعداد رسمي قبل الكارثة، وكثيرًا ما يُذكر أن قائمة الوفيات بلغت ١٢٠٠٠، ولكنها قائمة غير رسمية تمامًا. (يزعم بعض الكتاب أن الحدث المباشر ربما مات فيه عدد يصل إلى ٩٠٠٠٠ فرد). ومن الواضح أن ٢٦ فردًا من أهالي سومباوا قد نجوا بالفعل من الكارثة أحياء)، [٦] إلا أنه لم يحدث قط أن سُجلت أى من رواياتهم كتابة. ومع ذلك هناك أدلة لها اعتبارها من مصادر أخرى تدل على أن هذا الانفجار كان بمقاييس مذهلة.

ونحن نعرف بالفعل أن البركان العظيم بدأ يدمدم في الخامس من أبريل، وأن الانفجارات

على مسافات تصل إلى ١٥٠٠ كيلو متراً غرباً، و١١٥٠ كيلو متراً شرقاً، واسودت شمس منتصف النهار في منطقة بلغ نصف قطرها مئات عديدة من الكيلومترات. وسرعان ما سُدت الطرق البحرية بحصائر هائلة من الرماد والخرفش البركاني الطافيين. وتكونت موجات تسونامية صغيرة عديدة أغرقت الموانئ ودفعت السفن الراسية إلى شواطئ جزر مجاورة. ثم، حدث بعدها في ١٣ أبريل تفجر جانح، وقذف مونت تامبورا قدراً من ١٥٠- ١٨٠ كيلو متر مكعب (٣٦- ٤٣ ميل^3) من مسحوق الصخر والرماد، بما قلل من ارتفاع الجبل بما يقرب من ١٢٨٠ متراً (٤٢٠٠ قدم). ويلغ حجم المواد التي أطلقت في الجو ما لا يقل عن عشرة أمثال تفجر ثيرا في عام ١٦٢٦ق. م. ولما كان الانفجار قد وقع على ارتفاع كبير من سطح الأرض، فإن هذا الانفجار المارد لم يولد تسونامي كبرى، فكل المواد المنفوثة تقريباً اتجهت لأعلى، ومعظم ما اتجه إلى أعلى لم يهبط ثانية لزمن يقرب من السنة.

في عام ١٨٤٧، بعد مرور اثنين وثلاثين عاماً، تسلقت حملة الجبل في النهاية ورسمت أول خرائط تفصيلية أتاحت لنا تقدير مرتبة الانفجار. ولم يكرر أحد هذا التسلق حتى عام ١٩١٣، وبحلول عام ١٩٤٧ أبلغ المستكشفون أن ثمة بحيرة قد ملأت فوهة البركان. وفي أثناء ذلك حدثت تفجرات أخرى عنيفة وعديدة في براكين أخرى بالمنطقة مما أتاح للجيولوجيين أن يطوروا صورة أكثر شمولاً عن سلوك البراكين الأندونيسية. ونحن نفهم الآن أن هذا الخيط من براكين الرفع عرضة بالذات لأن يفجر كميات عظيمة من الرماد في طبقات الجو العليا، حيث تؤدي التيارات النافثة بطبقة الإستراتوسفير إلى توزيعها سريعاً حول الكرة الأرضية (٧) .

أما سنة ١٨١٦ التي تلت انفجار تامبورا الكبير فقد أصبحت تعرف في نيوانجلند بأنها "سنة بلا صيف". وأظهرت تسجيلات درجات الحرارة في جامعة ييل في كونيكتيكت أنها في المتوسط أقل من الطبيعي بما لايقل قل عن ٧° ف (تقريباً ٤°م)، وسقط "الثلج في يونيو في غرب" ماساتشوستس وبعض الأماكن في الشمال، وتكررت سلسلة من الصقيع في شهور يونيو ويوليو وأغسطس مما سبب فشل المحاصيل في

كل المنطقة الشمالية الشرقية من الولايات المتحدة. وكان الصيف أيضا جافا على نحو غير معتاد، مما ضاعف من مصاعب المزارعين. (وعلى الرغم من أن سقوط الثلج صيفاً بمعدل ٦ بوصات قد يعد أمراً مثيراً، إلا أنه لا يساوى إلا ما يقرب فحسب من معدل نصف بوصة من المطر). أما الشتاء التالى فكان حقًا بالغ المشقة ومات الآلاف من المجاعة [٨] .

وتعرضت أجزاء كثيرة من أوروبا لصيف بارد مماثل وما يترتب عليه من فشل المحاصيل. وبُذلت فى ألمانيا الجهود لمنع تقطير الكحول لإنقاذ إمدادات الحبوب الضئيلة للطعام. ومع ذلك فقد ارتفعت أسعار الحبوب لثلاثة أضعاف، وسُجل وقوع أعمال شغب من أجل الطعام فى فرنسا وهولندا وسويسرا، وتضاءلت أعداد القطط والكلاب وأخذ الناس يأكلون أشياء لم يسبق قط أن أكلوها، وأصدرت السلطات فى سويسرا تعليمات عن تجنب النباتات السامة (وهى ليست حتى بالكثيرة جداً فى هذا البلد الألبى). وعانت أيرلندا من مجاعة رهيبة، جعلت أفراد السكان عرضة لتفشى وباء انتهازى للتيفوس. وأصيب بالمرض بين عامى ١٨١٧ و١٨١٩ ما يزيد عن ١.٥ مليون أيرلندى، ومات من هؤلاء الضحايا ٦٥٠٠٠ فرد.

لم يصل قط تفجر تامبورا فى عام ١٨١٥ إلى صحف الولايات المتحدة وأوروبا، ولم يحدث إلا خلال العقود القليلة الأخيرة، أن ربط العلماء بين هذا الانفجار البركانى الكبير وبين الفترة التى تلت من طقس مرير فى الجانب المقابل من الكرة الأرضية. وليس من طريقة الآن لنقدر تقديراً دقيقًا التأثير الكامل فى البشر من حدث وقع منذ ١٨٠ سنة، بل ولم يوثق حتى توثيقًا جيداً وقت وقوعه. وفيما يحتمل، فإن عدد من ماتوا فى المجاعات لا يقل عن ٩٠٠٠٠ فرد، ويزيد هذا العدد زيادة لها قدرها لو أننا أحصينا عدد ضحايا الأمراض والأوبئة الجانبية. وبصرف النظر عن أوجه عدم اليقين فى التقدير الكمى لهذه التأثيرات، فإن من الواضح أن هذا الانفجار كان مسئولاً عن قدر عظيم من بؤس البشر وموتهم فى أرجاء الكرة الأرضية. ودرس تامبورا هو أنه من الوجهة الجغرافية، يكون فى أى انفجار كبير بركانى احتمال كبير لأن يسبب تهديداً لحياة البشر وعيشهم لمسافات بعيدة.

كراكاتاو ١٨٨٣

كراكاتاو جزيرة بركانية صغيرة غير مسكونة تقع في مضايق سوندا بين جاوة وسومطرة على بعد نحو ١٤٠٠ كيلو متر (٨٥٠ ميلاً) غرب مونت تامبورا. والخرائط البريطانية من القرن التاسع عشر تعرفها في موقعها على أنها "كراكاتو" وقد وجدت هذه التهجئة طريقها إلى الكثير من الأدبيات الشائعة. كانت الجزيرة في عام ١٨٨٣ تتكون من ثلاثة مخروطات بركانية تنامت عبر قرون كثيرة من كالديرا (*) قبل تاريخية، ظلت بقاياها باقية في شكل جزيرتين خارجيتين هلاليتين. وبعد ٢٧ أغسطس ١٨٨٣ لم يتبق إلا نصفُ مخروط واحد من المخروطات الثلاثة وقد شُق إلى نصفين شقًا بارعًا حتى منتصفه. وتفجر في الجو ما يزيد عن ٢٠ كيلو مترًا مكعبًا (٥ ميل^{3}) من كراكاتاو، وتخلفت مكان ثلثي الجزيرة الأصلية فوهة بركان تقع تحت البحر بما يصل عمقه إلى ٢٩٠ مترًا (٩٥٠ قدمًا). [9] ونتجت تدفقات من الفلذ البركانية وموجات التسونامي بما أدى إلى أن توفى على الأقل ٣٦٠٠٠ نسمة على الشواطئ القريبة.

ونحن نعرف عن هذا الحدث قدرًا من المعلومات أكبر مما قد يظنه المرء، خاصة باعتبار تاريخ الحدث وموقعه الذي يبدو غير مألوف. ومضايق سوندا كانت عند ١٨٨٣ ممرًا ملاحيًا كثيرًا ما تطرقه رحلات السفن، وأي سفينة تمر بين بحر الصين الجنوبي والمحيط الهندي لا يمكنها تجنب الوقوف عند كراكاتاو حتى ولو على الأقل على نحو غير رسمي. وكان هناك عدد من المستوطنات الهولندية الاستعمارية المزدهرة على الشواطئ القريبة لجاوة وسومطرة، الأمر الذي أدى إلى الاحتفاظ بسجلات متصلة. على أن ما كان له أهميته الخاصة، حقيقة أن معظم المدن الكبرى في العالم كانت قد ارتبطت حديثًا تو وقتها بواسطة كابلات تلغرافية تحت البحر. وهذا قد جعل في الإمكان، لأول مرة في التاريخ، إيجاد علاقة ارتباط بين المشاهدات التي تجري تقريبًا في الوقت نفسه في أماكن مختلفة من الكرة الأرضية.

(*) الكالديرا: منخفض عظيم في أعلى البركان يحل محل القمة التي نسفها البركان أثناء انفجاراته الشديدة، وقد يبلغ قطرها ١٠ كيلومترات أو أكثر (المترجم).

بدأ الحدث بسلسلة من زلازل صغرى فى أيام ١٠ و١٦ و١٨ مايو. وفى اليوم العشرين من مايو تفجر أصغر وأحدث براكين كراكاتاو فى سلسلة من الانفجارات بعثت بسحابة من الرماد ارتفعت لأكثر من ١٠ كيلو مترات فى الهواء. ومنذ ذلك الوقت ظلت الانفجارات متصلة تقريباً. ومع نهاية الشهر كانت سحب بركانية عملاقة قد نُفثت لارتفاعات تقرب من ٢٠ كيلو متراً (١٢ ميلاً) (شكل ٧، ٦). وسرعان ما تدثرت السفن المتحركة فى المضايق بغطاء من معجون سميك من رماد أبيض دقيق، وأخذ البحارة ينظفون أسطح سفنهم بالجرف فى ظلام كئيب تقطعه ومضات من برق تتراقص فى السحب البركانية. وفى ١ أغسطس سُجل وجود الخرفش البركانى الطافى على مسافات تصل إلى ١٩٠٠ كيلو متر (١٢٠٠ ميل) إلى الغرب. وبعد ذلك بأسبوع أو ما يقرب، انضم البركان الثانى فى كراكاتاو بتفجره الخاص به. وفى ١١ أغسطس رسا أرضًا باحث مسح حكومى لزمن قصير فى جانب الجزيرة أعلى اتجاه الريح ولاحظ أن كل النباتات قد دمرت هناك، وأنه قد أصبح يوجد الآن ثلاثة أعمدة تفجر منفصلة وعلى الأقل إحدى عشرة فتحة بخار نشطة. واختار الماسح بحكمة أن يرحل قبل إكمال مسحه. وبحلول ٢١ أغسطس سُجل حدوث أكثر من غروب غير معتاد فى جنوب أفريقيا.

حتى ذلك الوقت كان معظم السكان الاستعماريين فى المنطقة يرون الحدث على أنه عرض درامي للألعاب النارية الطبيعية، ولكنه ليس بالتهديد ذى الأهمية. وكانت أقرب مستوطنة، وهى كاليمبانج، تبعد ثلاثين كيلو متراً (١٩ ميلاً) عن كراكاتاو، وتقع مستوطنة أنجر على مسافة أبعد قليلاً، أما ميناء تيلوك بيتونج فيبعد سبعين كيلو متراً (٤٥ ميلاً): وكلها فيما يبدو مسافات آمنة، إلا أنه سرعان ما دُمرت بالكامل هذه المستوطنات هى ومدن أخرى على طول السواحل.

عند الساعة الواحدة مساء من يوم ٢٦ أغسطس وقعت انفجارات مدوية على فترات من نحو عشر دقائق، ما لبثت شدتها أن زادت بعدها بساعات معدودة، بما ارتجت له النوافذ إلى مسافة وصلت إلى جاكرتا على بعد ١٦٠ كيلو متراً. وكانت هناك سفينة بريطانية على بعد ١٢٠ كيلو متراً وجهت آلة رصدها السدسية إلى قمة سحابة رماد كراكاتاو، ودون القبطان فى سجل السفينة أن السحابة قد وصلت الآن



شكل (٧، ٦) كراكاتو كما بدا أثناء المراحل المبكرة من انفجاره فى عام ١٨٨٣، من رسم معاصر للحدث (الصورة الفوتوغرافية بإذن من ب. هيدير فارى، المركز القومى للبيانات الجيوفيزيانية)

إلى ارتفاع ٢٥ كيلو متراً (نحو ثلاثة أمثال الارتفاع النمطى لطيران طيارة تجارية حديثة). كان هناك وقتها فى مضايق سوندا ما يزيد عن خمسين سفينة، وقد غلفها الظلام فى منتصف النهار يقطعه البرق والتوهج الرهيب لحريق سانت إيلمو فوق صواريها وأشرعتها. وتساقط مطر متواصل من الرماد الساخن على السفن، واختنق البحارة بالأبخرة الكبريتية وهم يناضلون لتنظيف الأسطح بالجرف.

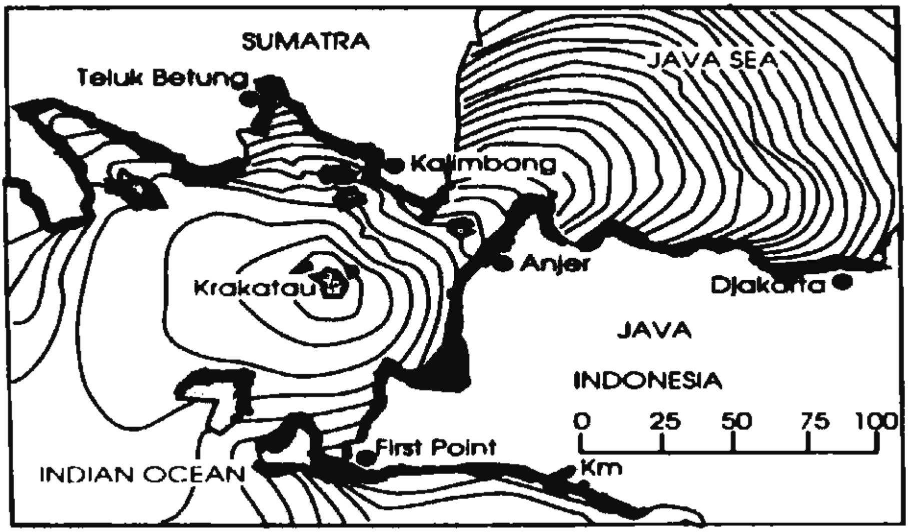
أتت الذروة فى الصباح التالى، يوم ٢٧ أغسطس، مع وقوع أربعة انفجارات مروعة عند الساعات ٣٠ : ٥ و٤٤: ٦ و ٠٢ : ١٠ و٥٢: ١٠ صباحًا، وهى توقيتات سُجلت بما هو غير متوقع على خريطة لمقياس ضغط بمصانع الغاز فى جاكرتا. وسُمعت هذه الانفجارات على مسافات شاسعة: فأيقظت الناس فى جنوب أستراليا على مسافة تبعد ٣٢٢٤ كيلو متر من الانفجار، بينما سُمعت أيضًا فى دييجو جارسيا التى تبعد غربيًا بمسافة ٣٦٤٧ كم وفُسرت الانفجارات تفسيرًا خطأً على أنها إطلاق مدافع. وسُمعت دمدمات بعيدة فى مساحة غطت جزءًا من ثلاثة عشر جزءًا من سطح الأرض. وفى الوقت نفسه، فإن العناصر غير المسموعة ذات التردد الصغير من موجات الصوت هذه قد تم اكتشافها على تسجيلات البارومترات عبر العالم كله. وعلى مر الأيام الخمسة التالية سجلت أجهزة رسم الضغط الجوى فى بوجوتا بكولومبيا سلسلة من سبعة تراوحات فى الضغط الجوى كانت كبيرة بوجه خاص، وكان وقوعها بفترات زمنية متساوية، وبوجوتا موقعها بالضبط على جانب الكرة الأرضية المقابل لكراكاتاو. كانت انفجارات الذروة فى كراكاتاو جد عنيفة حتى إنها جعلت جو الأرض كله يهتز فعلًا برنين كالجرس. وأثناء هذه الانفجارات الهائجة تمدد ريش رماد كراكاتاو عاليًا لارتفاع يبلغ على الأقل ٥٠ كيلو مترًا (٣١ ميلاً) بما يحدد نفس قمة الإستراتو سفير.

وفى أثناء ذلك تكونت موجة هائلة من "الحشود الملتهبة" اتجهت شمالاً مندفعة عبر ٣٠ كيلو مترًا(٢٠ ميلاً) من البحر، لتتمدد معتلية المنحدرات الجبلية لساحل سومطرة، حيث أحرقت قرى عديدة ومعها ما يقرب من ٢٠٠٠ إنسان. وإذا كان من المحتمل أن حصائر الخرفش الطافية فى المضايق قد أسهمت فى المدى الكبير لضربة هذا التدفق من الفلذ البركانية (بأن وفرت له سطحًا معزولاً يتحرك من فوقه)، إلا أنه لابد مع ذلك من أن هذه الفلذ كانت حارة جداً عند مصدرها ما دامت قد أحدثت دمارًا هكذا بعد رحلتها لما يزيد عن ٣٠ كيلو مترًا. كانت امرأة هولندية وأطفالها قد لاذوا بكوخ على جانب الجبل على ارتفاع ٢٠٠ متر (٦٥٠ قدمًا)، ولم ينجوا أحياء من الحدث إلا بصعوبة هائلة وبحروق خطيرة، وذكرت بعدها فى روايتها أن الرماد قد تفجر من خلال

الأرضية الخشبية، وهذا يتفق مع ما يتوقعه المرء من "الحشود الملتهبة" إذ ينحرف مسارها لأعلى بفعل الأرض المنحدرة. أما الخدم الذين بقوا خارج الكوخ فقد ماتوا فى التو.

على أن أكثر ما كان مدمراً هو موجات التسونامى. ارتطمت موجات تسونامى صغيرة نسبياً بالشواطئ القريبة فى عصر ومساء ٢٦ أغسطس، ثم مرة أخرى قرب الساعة ٧ والساعة ٩ من الصباح التالى. ثم حدثت قرب العاشرة صباحاً من ٢٧ أغسطس سلسلة موجات فظيعة غمرت كل السواحل فى المنطقة، وينطبق هذا التوقيت تقريباً مع الانفجار الرئيسى لكراكاتاو. تقع مدينة تيلوك بيتونج عند فوهة خليج طويل قمعى الشكل فتحته تجاه البركان (شكل ٧،٧)، وقد جرفت المدينة بأكملها فى سلسلة من أربع موجات هائلة يبلغ ارتفاعها ٣٠ متراً (ما يزيد عن ١٠٠ قدم). وأفلحت سفينة فى الإبحار خارج ميناء تيلوك بيتونج لتدخل مباشرة فى التسونامى التى وصفها القبطان بأنها تشبه سلسلة من جبال تعلو خارجة من "البحر". وكان هناك سفينة أخرى اسمها "بيروو" حُملت عبر المدينة بالكامل وأسقطت فى غابة داخل الأرض بمسافة ثلاثة كيلومترات (ميلين) على ارتفاع ١٠ أمتار (٣٣ قدماً) فوق سطح البحر، وقد استقرت ورفاصاتها بارزة لأعلى فى الهواء. وظلت السفينة هناك لزمن تأخر حتى عام ١٩٧٣، حيث قُطِّعت كنفاية خردة . ومحت هذه الأمواج الهائلة عشرات من المدن والقرى الأخرى وكل من كانوا يسكنونها من البشر، ووصل ارتفاع الأمواج فى بعض الأماكن إلى ارتفاع ٤٠ متراً (١٣٠ قدماً). لم تستغرق موجات التسونامى إلا إحدى عشرة ساعة للوصول إلى هونولولو، وسجلت فى النهاية على أجهزة قياس المد فى كل محيطات العالم.

فيما يبدو، فإن موجات التسونامى الأشد تدميراً قد نتجت عن انهيار جدران البركان فى التجويف الخازن للصهارة الذى أفرغ خلال سلسلة الانفجارات العظيمة الأخيرة. أما فوهة البركان التى تشكلت حديثًا تحت البحر فما كانت لتبقى فارغة لزمن طويل، وهكذا انحدرت إليها مياه البحر. وفى الحقيقة، فقد أبلغت سفينة، كانت راسية



شكل (٧ ، ٧) كراكاتاو والمنطقة المحيطة، مع بيان الأماكن التى أصيبت أقسى الإصابة بموجات التسونامي في عام ١٨٨٣ ، ويظهر صدر الموجة متمدداً على فترات من نحو خمس دقائق.

في الشمال مباشرة من مضايق سوندا، بوجود تيار هائل يتجه جنوباً قبل التسونامى مباشرة. ويطرح هذا أن التسونامي بدأت بقرار موجة وليس بقمة موجة، وأن الكثيرين من سكان الساحل ربما كان في استطاعاتهم الفرار لو أنهم لاحظوا ذلك وأدركوه. ولسوء الحظ كان الضوء أقل جداً من أن يسمح بالرؤية، فالسماء كانت سوداء تماماً فيما عدا ومضات من النشاط الكهربائى (التى نجدها دائماً فى السحب المضطربة وإن كانت تزداد شدة بازدياد كثافة الجسيمات الدقيقة المحمولة بالهواء). وبالإضافة، فقد كان مستوى الضجة فيما يحتمل أعظم من أن يتيح سماع أى صرخات إنذار، حتى لو كان أى واحد قد لاحظ بالفعل أن البحر قد ارتد عن خط الشاطئ. وبالطبع، لم يكن فى تلك القرى أرض عالية قريبة للهروب إليها، وهكذا فإنه حتى ولو كان هناك إنذار مسبق بنصف ساعة لما كان له فائدة تذكر. ولا ريب أن هذه الظروف قد تآمرت معاً لتتيح لتلك المياه الإندونيسية أن تبتلع ما يزيد عن ٢٠٠٠٠ حياة بشرية في ظلام منتصف النهار يوم ٢٧ أغسطس ١٨٨٣ .

سرعان ما تناقص التفجر عصر ذلك اليوم، لينتهي أمره بعد منتصف الليل بقليل. وفي صباح اليوم التالي كانت مضايق سوندا مسدودة بالخرفش البركاني الطافي بما يبلغ سمكه المتر الواحد، ومعه آلاف من الجثث البشرية. وحدث بعد ذلك بسنة كاملة أن ساقت المياه إلى ساحل أفريقيا الشرقي حصيرة هائلة من هذا التراث الشنيع الذي خلفه انفجار البركان، الخرفش المختلط ببقايا الهياكل العظمية البشرية. وهكذا ظلت هذه الحصيرة تتحرك طافية لمسافة ٧٢٠٠ كيلومتر (٤٥٠٠ ميل).

أما الرماد المحمول بالهواء من انفجارات كراكاتاو الأخيرة، فقد أحاط بالكرة الأرضية خلال أسبوعين، وظلت هناك مشاهد درامية للغروب في كل مكان فوق كوكب الأرض طيلة السنوات الثلاث التالية. وعلى الرغم من أن الرماد الذي قذف به إلى الإستراتوسفير لم يكن كافياً للتأثير في الطقس على نطاق كوكبي، إلا أن هذا الحدث قد وفَّر للعلماء أول دليل مباشر على دورة تيارات الهواء في طبقات الجو العليا، وأدى إلى فهم أعمق لما حدث بعد الانفجار الأكبر لمونت تامبورا في وقت سبق ذلك بثمانية وستين عاماً. [١٠]

لم ينطفئ بركان كراكاتاو. واستمرت التفجرات تحدث في الكالديرا تحت البحر من آن لآخر في السنوات بعد ١٨٨٣، ثم انبثق في يناير ١٩٢٨ مخروط بركاني جديد من البحر (سمي على الفور "أناك كراكاتاو"، أو "ابن كاراكاتاو". والآن فإن الكالديرا التي تخلقت في الانفجار المهول منذ قرن قد امتلأت إلى حد كبير برواسب جديدة من البقايا البركانية، وحدث في وقت قريب في صيف عام ١٩٩٥ أن لفظ المخروط البركاني ثانية الرماد في السماء. ولا شك أن أجيال المستقبل ستسمع المزيد من كراكاتاو.

السماوات تسقط أحياناً

الانفجارات البركانية الكبيرة نادرة نسبياً، ولكنها عندما تحدث بالفعل تجذب اهتمام كل واحد بسبب قوتها التدميرية المروعة. على أن هناك فئة أخرى من الكوارث الطبيعية فيها إمكان لأن تكون أكثر كارثية حتى من بركان متفجر: وذلك عند الاصطدام بكويكب كبير. ولكن هذا لا يتكرر حدوثه ولا حتى نادراً مثل انفجار بحجم

تامبورا، والحقيقة أنه لم يقع حدث رئيسي من هذا النوع منذ بدء أول البشر فى الكتابة. ومع ذلك فإننا نعرف بالفعل أنه عندما يصطدم كويكب كبير بالفعل بكوكبنا، كما فعلت كويكبات كثيرة فى الماضى الجيولوجى، فإن تأثيرات ذلك تشبه كثيراً تأثيرات الانفجار البركانى الكبير: سقط الرماد، والحرائق، وموجات التسونامى، وموجات صدمات جوية، وجيشان فى أحوال الطقس. وإذا كان الاصطدام كبيراً بما يكفى فإنه قد يفعل ما هو أسوأ: فيمكنه أن يدفع نوعاً بأسره إلى الانقراض، ويمكنه أن يغير من مسار التطور البيولوجى تغييراً دائماً. وإذا نحينا جانباً تحيزاتنا التى تتخذ محورها حول الإنسان، فإنه ما من عامل طبيعى له قدرة على خلق الدمار فوق كوكبنا بأعظم من كويكب كبير يدخل فى مسار اصطدام بكوكب الأرض. وقد انقضى زمن طويل منذ آخر اصطدام كبير بالأرض (حوالى ٥٠٠٠٠ سنة إذا عرفنا الحفرة "الكبيرة" بأنها ما يكون قطرها ١,٢ كيلومتر)، إلا أن هذا لا يعنى أن الإنسان الحديث محصن ضد تهديد كهذا.

فى الصباح الباكر من ٣٠ يونيو ١٩٠٨ علا ضجيج كرة نارية عملاقة وهى تجتاز السماء عبر شمال سيبيريا. وتفجرت هذه الكرة قرب قرية تونجوسكا القصية تفجراً بلغ من عنفه أن سوى بالأرض ٢٠٠٠ كيلو متر مربع (٨٠٠ ميل مربع) من الغابات وأطلق صدمة جوية دارت حول كوكبنا مرتين. وقد حسبت شدة الانفجار بعدها بأنها تكافئ ٢٠ مليون طن من مادة ت ن ت(*) ولما كان موقع الاصطدام بعيداً جداً، لم تحدث إلا إصابات قليلة بين البشر إن كان قد حدث أى منها، ولم يجر أى استقصاء علمى إلا بعد مرور ٢١ سنة. وعلى الرغم من أنه لم يعثر على أى دليل على حفرة اصطدام، إلا أن ملايين من الأشجار كانت ما زالت هاوية فوق الأرض، ورءوسها قد اتجهت بعيداً عن المركز الظاهر للانفجار. من بين الفروض المختلفة التى افترضت، فإن أرجحها فيما يبدو أن شهاباً حجرياً يبلغ قطره نحو ٦٠ متراً (٢٠٠ قدم) ويزن مئات معدودة من آلاف الأطنان، قد قطع مدار كوكبنا وتحلل متفجراً وهو يندفع منسحقاً فى جو الأرض بسرعة تزيد عن ١٠٠٠٠٠ كيلو متر فى الساعة.[11] وبعد أن جندلت موجة الصدمة الأشجار، استقرت بقايا الشهاب كما هو ظاهر فوق الأرض بهدوء كتراب لطيف.

(*) اختصار اسم المركب الكيميائى ترينيتروتولوين وهو مركز ب بلورى أصفر ينفجر بقوة كبيرة وتصنع منه المتفجرات. (المترجم).

منظومتنا الشمسية خاوية فى معظمها، فكوكبنا ليس إلا شظية دقيقة تدور فى فلك حول الشمس بسرعة من نحو ١٠٧٠٠٠ كيلو متر فى الساعة (٦٧٠٠٠ ميل/س). والأرض تصطدم بانتظام بأعداد لا حصر لها من جسيمات دقيقة فى حجم حبات الرمل تومض لزمن وجيز وهى تتحلل فى طبقة الجو العليا. وهذه هى "النجوم الطائرة"، أو "الشهب"، التى ترى بالعين المجردة (والصبورة) من سطح كوكبنا، ويكون ذلك فى الواقع فى أى ليلة صافية. وأحياناً يكون الشهاب أكبر قليلاً، وإذا كان يتكون من الحديد بدلاً من الحجر، تكون له الفرصة للوصول إلى سطح الأرض سليماً، بعد أن تقل سرعته بفعل الشد الجوى أثناء هبوطه فى زمن وجيز (يستغرق فحسب ثوانى معدودة). وعندها يشار إليه على أنه "نيزك"، ويمكن رؤية أمثلة من ذلك فى المعروضات الجيولوجية بالكثير من المتاحف.

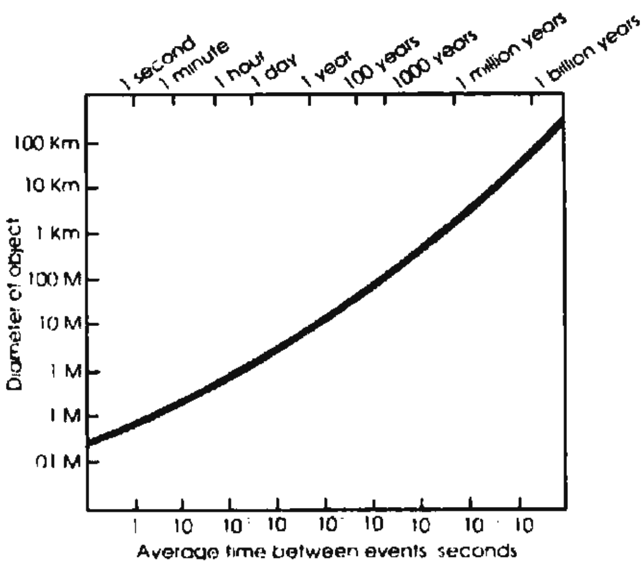
أحدث حالة موثقة لجرم من خارج الأرض يصدم إنساناً ترجع وراء، إلى عام ١٩٥٤؛ كانت امرأة فى سيلاكوجا بآلاباما ترتاح فوق أريكة بغرفة معيشتها، فاصطدم بها نيزك أصابها بكدمات وبلغ وزنه ٥ كيلو جرامات (١١ رطلاً)، وكان قد اصطدم مخترقاً سقفها ليرتد بعيداً من المذياع. على أن الأعجب من ذلك هو أحدث حالتين لاصطدام النيازك بالبيوت (وليس بالبشر) فى الولايات المتحدة. فى أبريل ١٩٧١ سبب أحد النيازك تلفاً صغيراً لبيت فى ويذرزفيلد فى كونكتيكت. وبعدها بأحد عشر عاماً فى ٨ نوفمبر ١٩٨٢، أتلف نيزك آخر منزلاً ثانياً "فى نفس المدينة"! وفى تطابق مذهل للحدثين العشوائيين كان الاصطدامان منفصلين بمسافة ميل واحد لا غير [١٢].

على أن هذه أحداث أبعد من أن تكون كارثية. واحتمال وقوع اصطدام كارثى بأحد الشهب هو لحسن الحظ احتمال جد صغير، على الأقل بالنسبة لأى سنة بعينها. وعند القيام بتعداد للأجرام الموجودة بين الكواكب فى الداخل من المنظومة الشمسية يجد علماء الفلك أجراماً أقل وأقل كلما انتقلنا إلى الأحجام الأكبر. وأى جرم أكبر من كيلو متر واحد أو ما يقرب (ولكنه أصغر بما له قدره من أى كوكب) يشار له على أنه "كويكب". وتحركات الكويكبات تنحو إلى أن تكون أكثر انتظاماً واستقراراً عن تحركات الجسيمات التى فى حجم حبات الرمل، ولذا فإنه عند اكتشاف أحد الكويكبات يمكن عادة التنبؤ بمداره حول الشمس بما هو موثوق به طيلة قرون كثيرة آتية.

وحاليًا فإننا نعرف على الأقل ٢٠٠ جرم قطرها أكبر من ١٠٠٠ متر (٣٠٠٠ قدم) لها مدارات تقطع مدار الأرض،[١٣] وهناك نحو ٢٠ جرمًا جديداً من هذا الحجم يجرى استكشافها الآن لتضاف للقائمة. ولحسن الحظ فإن أيًا من هذه الأجرام المعروفة لا يحتمل أن يصطدم بالأرض في أي وقت قريب. ولسوء الحظ فإن هذا البحث الجارى يقدر بأنه غير مكتمل إلا بما يقرب فقط من ٨٪ ، وبالتالى فإننا نظل أكثر جهلاً وليس معرفة بشأن الأخطار المحتملة. ومن الصعب أقصى الصعوبة اكتشاف الكويكبات لأن سطحها يعكس ضوءاً قليلاً جداً، ونحن عادة نكتشفها فقط عندما تسبب كسوف سلسلة من النجوم البعيدة لفترة تبلغ أيامًا أو أسابيع. والحقيقة أنه تم اكتشاف كويكب من ١٠٠٠ متر في عام ١٩٨٩، ولم يتم ذلك إلا "بعد" أن قطع الكويكب مدار الأرض عند نقطة كانت الأرض موجودة فيها قبلها بست ساعات لا غير. وفي مايو ١٩٩٦ تم لأول مرة اكتشاف كويكب آخر من حجم مماثل تقريبًا وكان اكتشافه قبل أربعة أيام لا غير من انطلاقه سريعًا قاطعًا مدار الأرض، ثم أخطأ في النهاية الاصطدام بكوكبنا بزمن من أربع ساعات. وبالنسبة للكثيرين من العلماء، فإن النجاة من هذين الاصطدامين كانت بزمن قصير قصراً مزعجًا. على أن هذه الأحداث أدت إلى زيادة الاهتمام العلمي بإجراء بحوث عن الكويكبات التي تقطع مدار الأرض.

يطرح التحليل الإحصائي أن كوكب الأرض يمكن أن يتوقع اصطدامًا بكويكب قطره ألف متر أو أكبر بمعدل مرة كل ٢٥٠٠٠٠ سنة في المتوسط. وبالنسبة للأجرام الأصغر، وهي أكثر عدداً بما له قدره، فإننا نتوقع أن يكون احتمال الاصطدام أعلى تمامًا إلى حد له قدره. والرسم البياني في شكل (٧ ، ٨) يبين المعدلات التقريبية للاصطدام بين الأرض والأجرام التي من خارجها بأحجامها المختلفة. وهذا الرسم البياني قد تأسس على افتراضات نظرية جد قليلة، ومع ذلك فإن نيزكًا حديديًا قطره تقريبًا ٥٠ متراً (١٦٠ قدمًا) قد ارتطم بالفعل في أريزونا منذ ٥٠٠٠ في سنة لا غير، وهذا وقت حديث جداً بالنسبة للزمان الجيولوجي، والحفرة التي بقيت للآن ظاهرة تمامًا يقاس قطرها بما يبلغ ١,٢ كيلو متر (٤٠٠٠ قدم) أو ما يعادل ٢٥ مثلًا لقطر كتلة الحديد السريعة التي خلقتها. والطاقة التي انطلقت في هذا الاصطدام تكافئ ، على الأقل ، إنفجاراً نوويًا من ٤ ميجا طن [١٤] .

إذا كنا على استعداد لأن نوسع من أفق مفاهيمنا إلى خط زمني يمتد وراء إلى مئات معدودة من ملايين السنين، فإننا نستطيع إعادة تخليق اصطدامات للكويكبات في الماضي هي حتي أكثر درامية. وجدول (٧، ٢) فيه قائمة بالحفر القديمة التي تم اكتشافها ولها أقطار من ٤٠ كيلو مترًا أو أكبر. [١٥] ولا ريب في أن هناك حفرًا أخرى بهذا الحجم ولكنها مطموسة الملامح بفعل قوى التآكل القاسية، أو أنها مخبوءة تحت البحار التي تغطي ٧٠٪ من كوكبنا.



متوسط الزمن بين الأحداث ، ثوانٍ

شكل (٧ ، ٨) العلاقة الاحصائية بين أحجام أجرام من خارج الأرض وتكرار اصطدامها بكوكب الأرض. وحفر الاصطدام يكون قطرها نمطياً ٢٥ مثلاً لقطر الجرم المصطدم.

ومع أن هذه البيانات غير مكتملة، إلا أنه يبدو أن هناك بالفعل أدلة لها اعتبارها على أن هذه الاصطدامات ليست أحداثًا استثنائية، وإنما هي بدلًا من ذلك تحدث في شيء من الانتظام الإحصائي. وينبغي أن نلاحظ أنه حتى أصغر الحفر التي سجلت في جدول (٧ ، ٢) و يبلغ قطرها ٤٠ كيلو مترًا، لابد وأنها قد تم تكوينها بفعل كويكبات قطرها على الأقل ١.٦ كيلو متر ، أو ما يقرب من الميل الواحد. والأجرام الكبيرة هكذا

يبدو أنها "بالفعل" ترتطم بالأرض من وقت لآخر، على الأقل عندما نتكلم عن فترات زمانية جيولوجية.

قد يظل بعض القراء يتشككون فى أن أحداثًا كهذه تهدد البشرية حقًا. وعلى كل فإن شهاب تونجوسكا لم يرتطم قط بالأرض فعلاً، وهذا هو الحدث المهم الوحيد من هذا النوع خلال الأزمنة التاريخية. فهل تكون الاصطدامات الكبرى بالكويكبات تهديداً يصدق؟ دعنا نصف حدثين آخرين قد يوفرا لمن يفكر متشككًا وقفة ليتروى ويتعجب.

جدول (٧ ، ٢) حفرات الاصطدام المعروفة التى لها أقطار من ٤٠ كيلو مترًا أو أكبر

إسم الحفرة	الموقع	القطر بالتقريب (كم)
فريد فورت	جنوب أفريقيا	٣٠٠
سد بيرى	أونتاريو، كندا	٢٥٠
تشيكسولوب	يوكاتان، المكسيك	١٧٠
مانيكوواجان	كويبيك، كندا	١٠٠
بوبياجى	روسيا	١٠٠
أكرامان	جنوب أستراليا	٩٠
تشيزا بيك	خليج تشيزابيك، الولايات المتحدة	٨٥
بوتشيزا كاتونكى	روسيا	٨٠
كارا	روسيا	٦٥
بيفر هيد	مونتانا، الولايات المتحدة	٦٠
توكونوكا	كوينزلاند، أستراليا	٥٥
شارلفو اكس	كويبيك، كندا	٥٤
سيلجان	السويد	٥٢
كارا - كول	طاجكستان	٥٢
مونتانييه	نوفا سكوتيا، كندا	٤٥
أرجوينا دوم	البرازيل	٤٠
سانت مارتن	مانيتوبا، كندا	٤٠

فى ٢٥ يونيو عام ١١٧٨ شهد أربعة رهبان بريطانيون حدثًا يبدو بالتأمل وراء أنه كان ارتطام كويكب بالقمر. كان القمر فى طور هلال رفيع، وعند السن العلوى للهلال رأى الرهبان ما وصفوه بأنه "مشعل ملتهب" يبث عرضًا مثيرًا من النيران والشرر. ثم ما لبث الهلال كله أن أظلم، الأمر الذى يمكن لنا توقعه مع استقرار التراب ببطء فى جاذبية القمر الضعيفة ليسد الطريق على ضوء الشمس الذى يعكسه عادة سطح القمر. والموضع الذى أبلغ عن وقوع هذه الظاهرة الغريبة فيه يتطابق تطابقًا وثيقًا مع حفرة القمر التى نسميها الآن برونو. على أن هذه الرواية العجيبة وحدها لم تكن قط بالقوة الكافية لإقناع معظم العلماء، ومنذ ٢٥ سنة مضت، لم يكن أحد يبدى اهتمامًا كبيرًا بها. ثم حدث فى أوائل السبعينيات أن أرسيت طرود كثيرة من الأجهزة فوق سطح القمر، بثت لنا ثانية بيانات تبين أن القمر كله يهتز فى ذبذبة مثل جرس هائل على فترات من نحو ثلاث سنوات. وهذا يتفق على نحو ملحوظ بما يتوقعه المرء بعد مرور ٨٠٠ سنة لا غير على الاصطدام بكويكب كبير فى المنطقة العامة لمشاهدات الرهبان الموثقة. [١٦] ولو طبقنا مبدأ نصل أو كام، سيلزم أن نتعامل جديًا مع إمكان أن يصطدم كويكب كبير بالقمر، فى ارتطام جد نشط بحيث كان مرئيًا بالعين المجردة على مسافة تقرب من ٣٩٠٠٠٠ كيلو متر (٢٤٠٠٠٠ ميل) منذ ما يزيد قليلاً عن ٨٠٠ سنة.

ثم حدث فى وقت أقرب، بل وحتى على نحو أكثر درامية خلال أسبوع بدءًا من ١٦ يوليو ١٩٩٤ حتى ٢٢ منه، أن سلسلة تتكون من أكثر من عشرين شظية شهاب كبيرة اصطدمت منسحقة بكوكب المشترى. [١٧] وكان الكثير من كتل الثلج والحجر هذه، كبيرة بحيث يصل قطرها إلى ٥ كيلو مترات، وبعث اصطدامها ريشات عظيمة من المواد المتبخرة لترتفع عاليًا فوق جو المشترى. [١٨] وهذه السلسلة الهائلة من الانفجارات التى رصدت بالتليسكوبات على نطاق واسع، تقع فى الأساس من حقيقة أن الاصطدامات العنيفة بين الأجرام الكبيرة فى الفضاء لهى أكثر من أن تكون مجرد احتمالات نظرية. فهى ليست فحسب مما "يمكن" أن يحدث، ولكنها فى الحقيقة تحدث "بالفعل" من وقت لآخر.

ولكن ما هى بالضبط درجة الخطر الذى يتعرض له البشر الذين يسكنون الأرض؟ عادة يقدر الإحصائيون درجة الخطر بالنسبة لكل فرد بأن يقسموا عدد السكان الذين يحتمل أن يصيبهم الخطر على حاصل ضرب عدد الأحداث فى متوسط عدد الوفيات المتوقع لكل حدث، مع تعديله بالنسبة لفترة زمنية معينة. قد يبدو هذا كلقمة كبيرة يصعب بلعها، ولكنه يصبح أسهل فهمًا عندما نقارن بعض النتائج. قد رتبت فى جدول (٧ ، ٣) قائمة باحتمال الخطر من أن يموت أحد الأفراد خلال فترة من خمسين سنة بسبب قلة معدودة من المخاطر الكثيرة فى الحياة. وعلى هذا الأساس، سنرى أن احتمال خطر الموت من ارتطام كويكب يقع فى نفس مدى احتمالات بعض المخاطر الأخرى المعروفة: كالموت بسبب إعصار أو ارتطام طائرة. وهذه الأرقام تعكس حقيقة أن الارتطامات الكويكبية الكبرى، وإن كانت غير محتملة فى سنة بعينها، إلا أنها عندما تحدث بالفعل يكون فيها إمكان لتوليد الدمار بمقاييس هائلة.

والكثير من التأثيرات المدمرة التى ذكرنا من قبل أنها تصاحب البراكين يمكن أن تنتج بنفس الفعالية عن اصطدام بين كوكبنا وأحد الكويكبات. وعندما يقترب كويكب كبير بالسرعة النمطية التى تبلغ ١٠٧٠٠٠ كيلو متر فى الساعة، فإنه سيشق جو الأرض بكيلومتراته المائة والخمسين فى خمس ثوان لا غير، وسيحدث له (بخلاف الشهب الصغرى الأكثر خفة فى الوزن والأكثر انتشاراً فى كل مكان وزمان) أن سرعته لن تتناقص إلا قليلاً جداً قبل أن يرتطم بسطح الأرض. وإذا حدث أن كانت مدينة تقع عند نقطة الارتطام فإن الكويكب ذى الكيلو متر الواحد سوف يمحو فى التو معظم ما يدل على الحياة أو النشاط البشرى. وإذا ارتطم الكويكب بأرض أو مياه ضحلة، فسوف يقذف بكتل هائلة من الوحل والبقايا عاليًا فى الجو، مثيراً الاضطراب فى مناخ الكرة الأرضية لسنين كثيرة، إن لم يكن لقرون. وإذا حدث الارتطام الكبير بأحد المحيطات فسوف يطلق تسونامى بمقاييس هائلة لتكتسح معظم خطوط سواحل العالم جارفة كل المنشآت فيها لمدى كيلو مترات كثيرة من الشاطئ.

جدول (٧ ، ٣) متوسط احتمال خطر الموت بالنسبة لأحد الأفراد فى فترة من خمسين سنة، كما يقدر من التكرارات التاريخية وعدد السكان حالياً

على نطاق العالم:

احتمال خطر الموت من:

انفجار بركانى	١ من ٣٠٠٠٠
اصطدام كويكب	١ من ٢٠٠٠٠

الولايات المتحدة فقط :

احتمال خطر الموت من:

زلزال	١ من ٢٠٠٠٠٠
برق	١ من ١٣٠٠٠٠
إعصار قُمعى	١ من ٥٠٠٠٠
إعصار	١ من ٢٥٠٠٠
سقوط طائرة	١ من ٢٠٠٠٠
صعق بالكهرباء	١ من ٥٠٠٠
حادث سيارة	١ من ١٠٠

ولعل هذا كله واضح فى أغلبه. أما ما هو أقل وضوحًا فهو إمكان وقوع تأثيرين إضافيين: زلازل وبراكين تقع بالحث عند الموقع المقابل لمكان الاصطدام، ثم حدث آخر يقع بالحث فى الطقس الجوى يسمى "إعصار فائق".

أى اصطدام كبير سوف يبعث موجة صدمة فى الأرض، وهذه الموجة سوف تنعكس وتنكسر بطرائق معقدة أثناء مرورها من خلال القشرة الأرضية، وطبقات الوشاح، واللب الداخلى والخارجى. على أن كوكب الأرض له سمترية كروية، ولذلك فإن

طاقة موجة هذه الصدمة سوف تتجمع فى اتجاه منطقة عامة يكون مركزها على جانب الكرة الأرضيـة المقابل لنقطة الاصطدام. وإذا حدث وكانت منطقة القشرة عند هذه النقطة المقابلة تقع من قبل تحت تأثير إجهاد تكتونى، فإن الطاقة المتجمعة قد تدفعها إلى ما يتجاوز العتبة الفاصلة، فتنطلق زلازل ثانوية وربما حتى انفجارات بركانية. ومن الواضح جداً من السجل الزلزالى أن الزلازل تنطلق أحيانًا نتيجة لزلازل أخرى، ويبدو أن السجل الجيولوجى يدعم التخمين بأن بعض تدفقات اللابة فيما قبل التاريخ ربما حث على وقوعها اصطدامات بكويكبات. وهناك نماذج رياضية تتأسس على هذه الأدلة المتاحة بالمشاهدة، ومع أن الأرقام قد تكون مبهمة فى هذه النماذج، إلا أنها تخبرنا أن هذا السيناريو ليس مما يستبعد وقوعه: فوقوع اصطدام بكويكب عند جانب من الكرة الأرضيـة قد يقدح الزناد بسهولة لوقوع زلازل على الجانب المقابل من الكوكب، بل وحتى لوقوع انفجارات بركانية.

وإذا وقع كويكب كبير فوق أحد محيطات العالم، فإن أحد تأثيراته الأخرى هى أن يزيد درجة حرارة المياه عند موضع الاصطدام. ونحن نعرف من قبل أن مياه المحيط الدافئة تحدث أوجه عدم استقرار جوية تؤدى إلى عواصف استوائية وأعاصير. والمياه الأسخن الأكثر تحدداً بمكان الاصطدام بالكويكب يحتمل أن تحدث ظاهرة فى الطقس الجوى تتعلق بذلك وهى: إعصار يكون نسبياً مدموجاً معاً بأكثر من الإعصار العادى ولكن شدته كبيرة لأقصى درجة: فهو "إعصار فائق". ومع أن النماذج الرياضية للأعاصير الفائقة مازال فيها أوجه عدم يقين محيرة، إلا أنه لا يمكن وجود أى شك فى أن أى اصطدام لكويكب كبير بأحد المحيطات سوف يولد تأثيرات عنيفة فى الطقس تظل باقية لزمن طويل بعد الحدث المباشر وتسبب دماراً كبيراً بعيداً عن موقع الاصطدام.

وقد طرحت اقتراحات جدية، جذب بعضها الانتباه فى جلسات الاستماع فى الكونجرس، وذلك لحماية كوكب الأرض من اصطدامات الكويكبات بأن نعيد تخصيص تمويل العالم للترسانات النووية غير المفيدة والباهظة التكاليف فنخصصه لهذا الهدف. ولسوء الحظ فإن طرح هذه الفكرة أسهل كثيراً من تنفيذها، ويلزم لذلك أولاً حل العديد من المشاكل التكنيكية والسياسية. بل إنه لم يتضح بعد إذا كنا نستطيع أن نكتشف

على نحو يُعتمد عليه وجود كويكب مقترب وهو لا يزال بعيداً عنا بما يكفى لأن نفعل شيئًا بشأن مداره. والكويكبات ليست إلا أجرامًا دقيقة الصغر إزاء خلفية الفضاء، وعندما يحدث وترتطم بنا فعندها فقط يبدو الكويكب فجأة كبيراً.

أما ما يثير السخرية فى النهاية فهو: أننا نحن البشر ما كنا لنوجد هنا لنتدبر هذه القضية لولا أن جائحة اصطدام بكويكب قد وقعت منذ نحو ٦٥ مليون سنة. وفى هذا الزمان البعيد، كانت الديناصورات هى شكل الحياة السائد فوق الكوكب، وقد ظلت الديناصورات هكذا لزمن لا يقل عن مائة مليون سنة سابقة. (قارن ذلك بفترة الخمسين ألف سنة التافهة أو ما يقارب ذلك التى عاشها الإنسان "الهوموسابينز" كنوع من الأنواع). والديناصورات أبعد من أن تكون مخلوقات هشة، وهى بلا ريب ما كانت لتبقى هذا الزمن الطويل جداً لولا أنها تكيفت تكيفًا فائقًا مع بيئة الأرض. أما الثدييات البدائية الصغيرة التى تعايشت مع الديناصورات، فكان موقعها بعيداً عن قمة سلسلة طعامها. ثم حدث فجأة فى أرجاء العالم كله، أن اختفت الديناصورات من سجلات الحفريات، وسرعان ما حدث تنوع وزيادة فى الثدييات الصغيرة لتملأ الفجوات الأيكولوجية الخالية. ونحن البشر بعض من سلالة لهذه المخلوقات الخصبة الصغيرة المكسوة بالفراء، والتى كان الهدف الأصلى منها فى خطة الطبيعة أن تكون مفيدة كطعام للديناصورات.

والتساؤل عما حدث للديناصورات قد انبعث فى التو عندما اكتشفت عظامها المتحجرة لأول مرة فى أوائل سنوات القرن التاسع عشر، ولكن لم يحدث إلا منذ ما يزيد قليلاً عن عقد من السنين أن انبثقت نظرية علمية.

اصطدام الكويكبات والانقراض الجماعى

حدث فيما بين أواخر الخمسينيات وأوائل الستينيات أن نشر طبيب اسمه إمانويل فليكوفسكى سلسلة من ثلاثة كتب استقبلها ملايين القراء فى كل العالم استقبالاً حماسياً ولكنها تعرضت لاستهزاء واسع الانتشار فى المجتمع العلمى. وكان أول كتاب منها وهو "عوالم تصطدم" مفعمًا بهوامش تثقيفية طويلة تستشهد بمخطوطات قديمة

من ثقافات من كل الأرض، وقدم الكتاب أطروحة بأن الأرض قد تعرضت لسلسلة من اصطدامات متقاربة بمذنب كبير خلال الأزمنة التاريخية. وهذا المذنب قد قذفه على نحو ما كوكب المشترى، ثم إنه اجتاز لمرات عديدة مدار الأرض لينتج مصادفة عن تأثيرات جاذبيته سلسلة كاملة من المعجزات التى سُجلت فى العهد القديم (مثلاً انهيار جدران أريحا، وتوقف الشمس فى السماء، وشق البحر الأحمر، ونزول المن من السماء أثناء خروج اليهود، وما إلى ذلك). ومذنب فليكوفسكى لم يختف ثانيًا فى أعماق الفضاء، وإنما انحرف بجاذبية الأرض ليقع فى مدار ثابت حول الشمس يكاد يكون مداراً دائرياً. وحسب فليكوفسكى فإن هذا الجرم أصبح يسمى الزهرة.

والآن، فإن هذا كله مما يمكن تمامًا البرهنة على أنه مجموعة من الهراء، فهو لا يقتصر على أن يتحدى المبادئ الميكانيكية المدارية، وإنما نحن نعرف أيضًا أحسن المعرفة من خلال مجسّاتنا الفضائية وتحليلات أجهزة تصوير الطيف أن تركيب الزهرة ليس فيه أدنى مشابهة بتركيب المشترى. وبالإضافة، فإن المؤرخين يؤكدون أن الزهرة كوكب عرفه القدماء جيداً قبل زمن خروج اليهود، وأن كوكب الزهرة توبع فى مداره الحالى حتى فى ذلك الزمان السحيق. إلا أن كتب فليكوفسكى انتشرت بين القراء انتشاراً خيالياً ونالت عندما ألفها قدراً كبيراً من الدعاية المواتية. وقد زار فليكوفسكى جامعات عديدة فى أواخر الستينات محاضراً فى حرمها ولقيت محاضراته دائمًا حضوراً جيداً من الطلبة (الأمر الذى اغتم له الكثير من كليات العلوم).

ومع أن المجتمع العلمى ساط فليكوفسكى ذهنيًا، إلا أن أفكار فليكوفسكى استمرت تشد لها الأتباع، الذين لم تقل أعدادهم إلا على نحو تدريجى جداً عبر العقدين الأخيرين. وكنتيجة لذلك، فإن المناخ العلمى خلال هذه الفترة كان أبعد من أن يدعم أى باحث قد يبلغ به تهوره أن يطرح وجود مصدر من خارج الأرض لأى كارثة أرضية فى الماضى. والحقيقة أن مفهوم وقوع كارثة للكرة الأرضية كان هو نفسه بمثابة " تابو" محرم أكثر التحريم كموضوع للبحث العلمى الجدى.

حدث قرابة عام ١٩٨٠ أن حاول لويز ألفاريز وزملاؤه فى بحث لهم أن يفسروا مشاهدة علمية غريبة. [١٩] كانت التحاليل الكيميائية فى مناطق من أرجاء العالم تظهر

دائمًا أن هناك على غير المتوقع تركيزاً عالياً لعنصر الأيريديوم النادر وذلك فى عينات جيولوجية أخذت من طبقة الحد الضيق بين العصرين الطباشيرى والثلاثى فيما قبل التاريخ. وطبقة الحد هذه قد ترسبت منذ نحو ٦٥ مليون نسمة، وهى أيضا دالة على اختفاء الديناصورات من سجل الحفريات. ويمكننا أن نجد تحت هذه الطبقة (بما يصل إلى ١٠٠ مليون سنة قبلها) حفريات للديناصور، ولكننا لا نجدها قط فوقها. هل تكون مجرد صدفة أن هذا الحد الدقيق الصغر الذى يؤرخ لانقراض الديناصورات يحوى أيضًا هو نفسه مستويات مرتفعة من الأيريديوم؟

الأماكن الوحيدة الأخرى التى نجد فيها تركيزات عالية من الأيريديوم هى محولات الحفز المهملة وبعض النيازك المعدنية. وكون ألفاريز وفريق بحثه نظرية تقول إن كويكبًا معدنيًا كبيراً قد ارتطم بالأرض منذ ٦٥ مليون سنة وقذف بكميات كبيرة من الجسيمات فى طبقات الجو العليا حيث حجبت الشمس. وعندما اضطرب توازن الأرض إشعاعيًا، سرعان ما بردت إلى درجة لم تعد معها تحسن استضافة سكانها من ذوى الدم البارد. وكان استمرار السماء المظلمة والبرد لسنوات معدودة فيه ما يكفى وأكثر لضمان انقراض الديناصورات من العالم كله. وفى النهاية استقر الغبار المحمل بالايريديوم فى اتساق فوق سطح الكوكب، فوق عظام جثث الديناصورات، ليوفر لنا الدليل الكيميائى الذى أعدنا به الآن تشكيل الحدث.

عندما طُرحت هذه النظرية لأول مرة، كانت أبعد من أن تكون نظرية رائجة (وإن لم يكن أى عالم يختلف فى أنها نظرية علمية أكثر من نظرية فليكوفسكى). سافر الباحثون فى أرجاء العالم كله بحثًا عن الأيريديوم عند الحد الطباشيرى – الثلاثى (حد ط– ث)، آملين أنْ يجدوا عينات تهدم نظرية ألفاريز. وبدلاً من ذلك ظلوا دائمًا يجدون المزيد من أمثلة الارتفاع فى تركيز الأيريديوم فيما يناظر كل التناظر وقت اختفاء الديناصورات.

على أنه مع هذه الأدلة الداعمة الإضافية، إلا أن نظرية انقراض الديناصورات بالاصطدام ظل ينقصها الدليل الواضح وضوح "انطلاق الدخان من فوهة بندقية". أين الحفرة؟ حتى تفسر حفر الاصطدام تأثيره فى الكرة الأرضية بمدى يقتل آلاف

الأنواع، يجب أن تكون حفرة كبيرة جداً وبمرتبة من قطر يبلغ ٢٥٠ كيلو متراً، بما يتوافق مع كويكب يبلغ قطره على الأقل ١٠ كيلو مترات. وحتى بعد ٦٥ مليون سنة من التآكل، ينبغي أن يبقى لنا بعض دليل على هذا الملمح الدرامي من التغير في سطح الأرض. وها هنا سنجد أننا لم تصلنا بعد كل النتائج، وإن كانت هناك حفرة مكتشفة حديثًا (حفرة تشيكسولوب) لها فيما يبدو العمر التقريبي المناسب ولها تقريبًا الحجم المناسب، وتقع في معظمها تحت الماء عند الشاطئ الغربي لشبه جزيرة يوكاتان في المكسيك، وحتى الآن لم يحن بعد الوقت لنهنئ أنفسنا بتبادل السيجار، ولكن العلماء قد أخذوا في النهاية يتسلقون للداخل من عربة الفرقة الموسيقية التي تعزف لحن الاصطدام بكويكب، والكثيرون منهم يبحثون جديًا عن أدلة داعمة إضافية. وربما سنصل ذات يوم إلى أن نستنتج استنتاجًا لا لبس فيه بقدر الإمكان، بأن الديناصورات دُفعت حقًا إلى الانقراض بسبب اصطدام كويكب كبير بالكوكب الأرضي.

هكذا فإن فكرة أن الكوارث الطبيعية الكبرى في الماضي ربما يكون لها أصول من خارج الأرض، فكرة أخذت تدخل في التيار الرئيسي للفكر العلمي. وتكشف سجلات الحفريات بوضوح معقول أنه قد وقعت خمسة انقراضات كبرى في الكرة الأرضية: أولها منذ نحو ٤٥٠ مليون سنة، ثم ٣٥٠ مليون سنة، و٢٢٥ مليون سنة، و١٩٠ مليون سنة، وأخيراً منذ ٦٥ مليون سنة. وفي السنوات الأخيرة المعدودة فحسب، طرحت فروض جدية تربط كلاً من هذه الكوارث البيولوجية المعروفة مع أحداث فلكية مثل الاصطدام بالكويكبات، وتفجرات السوبرنوفا، وما يشابه ذلك. وعلى الرغم من أن أيًا من النظريات الحالية ليست بقوة نظرية ألفاريز عن الانقراض الطباشيري – الثلاثي، إلا أن ما يحدث "بالفعل" هو أن العلماء الآن أصبحوا أكثر تفتحاً بماله قدره بشأن إمكان تعرض كوكبنا في المستقبل لكوارث في الكرة الأرضية أصلها من خارج الأرض. وتوقع بقاء النوع البشري على المدى الطويل توقع لا يحق له أن يزعم لنفسه وضعًا مفضلاً في نظام الكون.

حتى زمن قريب نوعًا، كان العلماء يحسبون أنه ما من حدث طبيعي يمكن فيما يُحتمل أن يهدد كل الحياة على الأرض إلا بعد أن تنقضي على الأقل ٥ بلايين سنة أخرى، وذلك عندما ما يحدث (حسب حسابات الفيزياء الفلكية) أن تأخذ شمسنا

في التضخم إلى مارد هائل أحمر، وتتبخر المحيطات، ويختزل كوكبنا إلى جمرة ذاوية. على أنه يبدو الآن أن هناك كوارث كوكبية فيها إمكان لجعل الأرض بلا حياة، وهي كوارث قد تحدث بمعدل تكرار متوسطه مرة لكل ١٠٠ مليون سنة، وأن هناك اصطدامات تكفي لتدمير معظم الحضارة البشرية فوق الكوكب، وهي اصطدامات قد تقع بمعدل مرة كل ٣٠٠٠٠٠ إلى مليون سنة. والأسوأ من ذلك، أنه بخلاف ما نتنبأ به من نهاية الشمس بالاحتراق، قد تحدث هذه الكوارث الكوكبية بلا إنذار أو بأقل إنذار. هل هذا أمر يسبب لنا الأرق؟ أنا شخصيًا سأكون أكثر ارتياحًا لو عرفت أن "شخصًا ما" من نوى الاطلاع قد سبب له ذلك الأرق.

الهوامش

(1) Contemporary accounts of the disaster appear in A. Heilprin, Mont Pelée in its might, McClure's Magazine, Oct. 1902, 359-68, and C. Morris, The destruction of St. Pierre and St. Vincent and the World's Greatest Disasters.. (Philadelphia: American Book and Bible House, 1902). A more recent article is L. Thomas, Prelude to doomsday, American Heritage, Aug. 1961, 4-9 and 94-101.

(2) S. Chretien, & R. Brousse, Events preceding the great eruption of 8 May 1902 at Mount Pelée, Martinique, Journal of Volcanological Geothermal Research, 38 (1989), 67-75.

(٣) كان أحد شهود العيان عضواً فى الجمعية الفلكية الفرنسية وهو روجر أرنو، وقد أبلغ بأنه رأى السحابة وهى تنتقل لمسافة من نحو ٨ كيلو مترات فيما لا يزيد عن ثلاث ثوان. وإذا كان الأمر هكذا، فإن سرعة السحابة لابد وأن تكون ٨ أمثال سرعة الصوت. وهذا لا يبدو فيزيائياً ممكناً، ويضيف خطاً نضعه تحت مشكلة أن تؤخذ روايات شهود العيان كما هى حرفياً.

(4) Comparative studies of the two events are meager. One of the few is A. G. Macgregor, Eruptive mechanisms: Mt. Pelée, The Soufriere of St. Vincent and The valley of Ten Thousand Smokes, Bulletin Volcanologique, 12 (1951), 49-74.

(5) T. Simkin & L. Siebert, Volcanoes of the world (Washington, D. C.: Smithsonian, 1994).

(6) Sir Thomas Stamford Raffles, History of Java (London, 1817; Reprint, Oxford: Oxford University Press, 1965).

(7) R.B. Stothers, The Great Tambora eruption of 1851 and its aftermath, Science, 224 (1984), 1191-8.

(8) H. Stommel & E. Stommel, Volcano weather: The story of 1816, the year without a summer" Newport, R. I. Seven Seas, 1983). Among the several articles the same authors published on the same subject: The story of 1816, the year without a summer, "New Scientist". 102 (1984), 45 - 53.

(9) T. Simkin & R.S. Fiske, Krakatau (Washington, D.C: Smithsonian, 1983).

(10) P. Francis & S. Self, The eruption of Krakatau, Scientific American, Nov.1983, 172-87.

(11) F.J. Whipple, The great Siberian meteor. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 56 (1930), 287-394. For a more recent article, see R. Ganapathy, The Tunguska explosion of 1908: Discovery of meteoritic debris near the explosion site and at the South Pole, Science, 220 (1983), 1158-61.

(12) B. Berman, Struck by a meteor, Discover, Aug. 1991, 28.

(13) E.M. Shoemaker, R.F. Wolfe & C.S. Shoemaker, Asteroid and comet flux in the neighborhood of earth, in V.L. Sharpton & P.D. Ward, Eds. Global catastrophes in Earth history, Geological Society of America Special Paper no 247 (Boulder, Co.: Geological Society of America, 1990).

(14) H. C. Urey, Cometary collisions in geological periods, Nature, 242 (1973), 32.

(15) R. Grieve, The record of terrestrial impact cratering, GSA Today, Oct. 1995.

(16) J.D. Mutholland & O. Calame, Lunar crater Giordano Bruno. A.d. 1178 impact observations consistent with laser ranging results, Science, 199 (1978), 875.

(17) D.J. Eicher, Death of a comet, Astronomy 22 (10) (Oct. 1994), 40 - 45.

(١٨) رصد انطلاق المادة من المشترى إلى الفضاء أمر مثير بالذات مع معرفة أن جاذبية المشترى أقوى من جاذبية الأرض بما لا يقل عن العامل الثالث.

(19) L.W. Alvarez, F. Asaro et al., Extraterrestrial cause for the Cretaceous - Tertiary extinction, Science, 208 (1984) , 1095 - 1108. See also W. Alvarez & R.A. Muller. "Nature", 308 (1984), 718 - 20, And W. Alvarez et al., Nature, 216 (1982), 886 - 8.

الفصل الثامن

رياح ميتة

مقاطعة ديد ، ولاية فلوريدا ١٩٩٢

بعد مرور أسبوعين من أغسطس ١٩٩٢، نشأ منخفض استوائى تجاه ساحل أفريقيا الغربى وبدأ بتخذ طريقه غرباً. وهذه العواصف الممطرة يشيع وجودها فوق المياه الاستوائية فى أواخر الصيف وأوائل الخريف، وهى عادة تندفع فعلاً تجاه الغرب، ومعظمها ينهى مجراه الطبيعى خلال أيام معدودة. إلا أنها دائمًا تستحق أن توضع تحت المراقبة، وفى هذه الحالة عندما درس علماء الأرصاد الجوية ما لديهم من صور الأقمار الصناعية أصبحوا قلقين نوعًا حيث استمرت سرعة الرياح تتزايد. وعندما تجاوزت سرعة الرياح المتواصلة (*) معدل ٦٣ كيلو مترًا فى الساعة (٣٩ ميل/س) كان من اللازم حسب البروتوكول المقنن أن يخصص للحدث اسم من قائمة محددة مسبقًا، وهو هنا: "أندرو"، حيث حرف "أ" يرمز لأول عاصفة استوائية مكتملة فى الموسم

ومع ذلك، لم يكن هناك فيما يبدو أى سبب جدى للإحساس بالخطر، ذلك أن أندرو وهو يقترب من البحر الكاريبى، غيَّر اتجاهه إلى الشمال ولخارج المناطق الاستوائية. ويحدث عادة عند خطوط العرض شمال مدار السرطان (٥ ، ٢٣° شمالاً)، أن الرياح السائدة تجز من قمم السحب المرعدة للعاصفة الاستوائية، وهذا يمنع العاصفة من أن يتزايد نموها إلى إعصار متكامل. [1] إلا أن أندرو لم يتلق هذه

(*) سرعة الرياح المتواصلة تشير إلى سرعة دوران الرياح داخل دوامة الإعصار وليس سرعة انتقال الإعصار (المترجم) .

الرسالة، وعند خط عرض يقرب من ٢٦ درجة شمالاً، تصاعدت رياحه المتواصلة إلى ما يتجاوز ١١٩ كيلو متراً في الساعة ٧٤ ميل/س)، بما يكسبه الانتماء إلى إعصار من الفئة ١ .

بحلول الساعة ١١ مساء من يوم ٢٣ أغسطس كان أندرو قد اجتاز أكثر من ٥٠٠٠ كيلو متر من عرض المحيط، وأصبح على بعد ٨٤٠ كيلو متراً (٥٢٠ ميلاً) شرق ميامي وهو يتحرك غرباً بسرعة ٢٢ كيلو متراً في الساعة (١٤ ميل/س). ومن داخل الإعصار، كانت الرياح الآن تعصف بسرعة تصل إلى ١٧٥ كيلو متراً في الساعة (١١٠ ميل/س)، بما يقترب كثيراً من الفئة ٣ ، وإذا لم تغير العاصفة خط سيرها، فإنها ستضرب جنوب فلوريدا في أقل من سبع وثلاثين ساعة، حيث من المؤكد أن سيكون الدمار واسع النطاق.

على أن مسارات الأعاصير مشهور عنها أنها مما لا يمكن التنبؤ به، ومن المعروف أن هذه العواصف العنيفة يحدث لها بعض التفافات وانعطافات شديدة خلال سبع وثلاثين ساعة. وإعطاء أمر إخلاء جد سريع فيه مجازفة بإخلاء المناطق الخطأ، وهذا أمر من المؤكد أنه يقوض مصداقية أوامر الإخلاء الأخرى لعدة أعوام قادمة. ومن الناحية الأخرى، فإن التأخير في أمر الإخلاء يجلب مخاطر شديدة. والسلطات المسئولة يلزم عليها أن تتجنب خروج حشود عظيمة من الأفراد في إخلاء في الليل، أو سد الطرق الرئيسية بعد أن يبدأ بالفعل سقوط الأمطار الغزيرة والفيضان. والحقيقة أنه قد حدث أثناء "إعصار يوم العمل" عام ١٩٣٥ أن صدر أمر الإخلاء متأخراً وبدون تحمس، بما أدى إلى عزل آلاف من الناس في جزر فلوريدا كيز عند وصول الإعصار. ومات في هذه الكارثة أربعمائة وثمانية من الأفراد.

عانت ميامي من ضربات مباشرة من الأعاصير في عامي ١٩٢٦ و١٩٢٨، ومات مئات عديدة من الأفراد في هذين الحدثين. وأتت الضربة التالية في عام ١٩٥٠، ولكن هذه العاصفة سببت تلفاً بسيطاً نسبياً وإصابات قليلة. والآن، بعد مرور اثنين وأربعين عاماً كانت منطقة مدينة ميامي كحاضرة قد تضخمت، وكانت معظم مبانيها لم تتعرض أبداً لرياح شديدة، كما أن معظم سكان المنطقة (ويقرب عددهم من ٢ مليون في مقاطعة ديد وحدها)، لم يخبروا قط عاصفة استوائية خطيرة. وكان الموقف الذي يواجه

صانعى القرار فى الدفاع المدنى موقفًا مليئًا بأوجه من عدم اليقين على مستويات عديدة. ومما يحسب لهم، أن كل السلطات وفرق العمل الجديدة وأفراد كادر الخدمة العامة قد أدوا مهمتهم أداء رائعًا.

هدأت الرياح والأمطار فى النهاية بعد أن سببت تلفًا فى الممتلكات وصلت قيمته لمبلغ هائل من ٣٠ بليون دولار، كما أوقعت الاضطراب فى حياة ٣ مليون فرد، ومع ذلك كانت قائمة ضحايا أندرو من البشر عند النهاية لا تتجاوز ٤٣ فرداً لا غير.

فى صباح الأحد ٢٣ أغسطس، أعلنت صحف فلوريدا عن قرب وصول الإعصار فى عناوين مدوية لا يمكن أن تفوت إلا قلة معدودة. وصدرت أوامر إخلاء المناطق المنخفضة قبل الظهر مذاعة من كل محطات الراديو والتليفزيون، وأخلى أكثر من مليون فرد ديارهم، ونشروا أكياس نومهم فى الملاجئ المخصصة للأعاصير. وأحاط المساعدون الطبيون ورجال الشرطة بالمشردين بلا مأوى ونقلوهم إلى الملاجئ العامة. وأثناء ذلك تم بسرعة بيع كل قطع رقائق الخشب من كل شادر خشب حتى نفدت، حيث اندفع الناس لشراء المواد التى تستخدم فى تثبيت نوافذهم وأبوابهم بألواح الخشب. تكدست حركة المرور فى ازدحام هائل على كل الطرق الآتية من الساحل. على أن هذا التكتل الصاخب لم يدم سوى لساعات محدودة. وبحلول آخر وقت من الأصيل وقد صارت السماء معتمة وأخذ المطر يسقط هونًا، أصبحت حركة المرور ضئيلة بالفعل. كانت آخر محال الأعمال قد أغلقت أبوابها، والمستشفيات قد نقلت كل مرضاها إلى ممرات داخلية. واختبر المهندسون نظم الإضاءة للطوارئ. ونشطت الرياح، وتجمع الملايين مع أحبابهم ليقضوا ليلة هى أشد الليالى إقلاقًا فى حياتهم. كان من المتوقع أن يضرب أندرو ميامى رأسًا برأس، إلا أن ما حدث حقيقة هو أن مركزه اجتاز ٢٤ كيلو مترًا (١٥ ميلاً) إلى الجنوب ليصل مبكرًا عن المتوقع بساعات معدودة، وبلغ اليابسة قرب الساعة ٥٢: ٤ صباح الإثنين ٢٤ أغسطس. ووقتها كان الإعصار يشق طريقه متقدمًا بسرعة معتدلة من ٤٥ كيلو مترًا فى الساعة (٢٥ ميل/س). ونحن لا نعرف قمة سرعة الرياح، لأن الرياح دمرت معظم الأجهزة فى المركز القومى للأعاصير فى ميامى (على الرغم من أن هذه المنشأة كانت فى موقع بعيد تمامًا عن الضربة الرئيسية للعاصفة). على أن الأدلة كلها تطرح أن هذا الإعصار كان من الفئة الخامسة (الفئة



شكل (٨ . ١) الدمار فى هومستيد فى فلوريدا، فى أعقاب الإعصار أندرو، ١٩٩٢
(الصورة الفوتوغرافية بإذن من تيم مارشال)

الأعلى حسب المقياس الحالى)، حيث الرياح المتواصلة تزيد سرعتها عن ٢٥٠ كيلو متراً فى الساعة (١٥٥ ميل/س). بل إن بعض العصفات المحلية ربما ارتفعت سرعتها حتى إلى ما يصل إلى ٣٠٠ كيلو متر فى الساعة (٢٠٠ ميل/س)، وهى السرعة النمطية بالنسبة للتورنادو (الإعصار القُمعى) أكثر منها بالنسبة للأعاصير الأخرى [٣] وبسبب سرعة مقدمة أندرو الكبيرة وحجمه المدموج، فإنه سرعان ما أصبح فى ذمة التاريخ بالنسبة لمقاطعة ديد، وذلك بعد زمن قليل من نحو سبع ساعات لا غير. وعند الظهر، كان معظم السكان الذين أخلوا قد خرجوا تحت بواقى من رذاذ المطر وهم يحاولون شق طريقهم بين ما سقط من الأشجار وخطوط الطاقة ليصلوا إلى أطلال بيوتهم. وفي حالات كثيرة جداً لم يبق قائماً سوى أقل القليل (شكل ٨ . ١). وكان أكبر دمار يقع فى حزام عرضه ٣٠ كيلو متراً (٢٠ ميلاً) ويجرى من خلال المجتمعات السكنية فى جنوب غرب ميامى، والواقع أن كل مدينة هو مستد كانت قد سُويت

بالأرض. ومن أصعب الأمور وأكثرها تكلفة أن نحاول بناء منشأ يمكنه أن ينجو بغير ضرر فى أعنف عصفات إعصار مثل أندرو، ومع ذلك فإن الاستقصاءات التى جرت بعدها كشفت عن أنه قد حدث تهاون فى اتباع الكثير من لوائح الإنشاء للوقاية من الأعاصير، ولا يوجد الآن أدنى شك فى أن انتهاكات لائحة البناء قد فاقمت شديداً من تأثير الكارثة. وقد نتج عن الكارثة تدفق هائل من مطالبات التأمين مما أجبر ست شركات على الأقل من شركات التأمين التى تتخذ مركزها فى فلوريدا على إعلان إفلاسها، ورفعت دعاوى قضائية ضد مقاولى البناء ظلت تشغل محاكم فلوريدا لسنوات عديدة. على أن الكثير ممن فقدوا بيوتهم وممتلكاتهم لم يتلقوا قط بالفعل إلا تعويضات لا تزيد عن جزء من خسائرهم.

وعلى الرغم من أن أندرو فقد بعضًا من قوته وهو يجتاز كتلة الأرض فى جنوب فلوريدا، إلا أنه تلقى جرعة جديدة من الطاقة وهو يدخل مياه خليج المكسيك الدافئة، ثم ينعطف إلى الشمال . ومدينة نيو أورليانز تكاد تكون فى مستوى سطح البحر أو أقل، وهكذا فإنها استعدت لضربة مباشرة من الإعصار مع فيضان كبير. ولحسن حظ هذه المدينة، انحرف أندرو على غير المتوقع متجهاً إلى الغرب فى الساعات الأخيرة قبل أن يبلغ اليابسة للمرة الثانية، وحلت المحن البشرية فى مكان آخر.

فى نحو الساعة ١١ مساء من ٢٥ أغسطس، ضرب الإعصار الشاطئ قرب مدينة مورجان فى لويزيانا، وهى مدينة من ١٥٠٠٠ فرد، كان معظمهم من الحكمة بحيث أخلوا بيوتهم. وفى ذلك الوقت كانت سرعة الرياح المتواصلة تقاس بـ٢٢٥ كيلو متر فى الساعة (١٤٠ ميل/س)، وقد تباطأ تقدم الإعصار أمامًا إلى ٢١ كيلو مترًا فى الساعة (١٣ ميل/س)، وهذه السرعة البطيئة للعاصفة أتاحت للرياح العنيفة الوقت الكافى لأن ترفع موجة عاصفية هائلة أغرقت قطاعًا كبيراً من خط الساحل. ومات خمسة عشر فرداً فى لويزيانا، وأضاف أندرو ٢ بليون دولار إلى قائمة الخسائر التى سببها فى الممتلكات. وتجاه الشاطئ اختفت جزيرة جراند أيل الحاجزية تمامًا تحت الماء أثناء العاصفة، بمثل ما ابتلع البحر جزيرة جالفستون أثناء كارثتها الكبرى سنة ١٩٠٠

انقشع هياج الإعصار سريعًا وهو يندفع للداخل من الأرض، وبحلول الساعة الواحدة مساء من ٢٦ أغسطس كانت مرتبته قد انخفضت إلى عاصفة استوائية سرعة

رياحها ٩٦ كيلو متراً في الساعة (٦٠ ميل/س)، وبعد ذلك باثنتي عشرة ساعة انخفضت سرعة رياحه إلى سرعة متواضعة من ٥٥ كيلو متراً في الساعة (٣٥ ميل ساعة) والعاصفة تجتاز جورجيا. وعند هذا الحد لم يعد أندرو قادراً بعد على إحداث أي شيء أخطر من إسقاط مطر وافر.

ولكن جنوب فلوريدا أصبح فيه على الأقل ١٦٠٠٠٠ فرد بلا مأوى (وتزعم بعض المصادر أن عددهم وصل إلى ٣٠٠٠٠٠)، وقد سُوِّى بالأرض ٨٠٠٠٠ مسكن، بينما كان ٥٥٠٠٠ بيت آخر قد تلفت تلفًا شديداً، وأصبحت تصلح للسكن في جزء منها لا غير، كما أصبح مليون فرد بلا مصدر للطاقة، وصار الطعام والماء نادرين. وظلت جهود الإغاثة معوقة لأيام كثيرة بسبب دمار البنية التحتية: شوارع لا يمكن اجتيازها، وخطوط طاقة منهارة، وتقطع في خدمات التليفون. وحتى تزداد الأمور سوءاً، ظلت الأمطار تسقط معظم الأسبوع التالي، وتشبع بالمياه الكثير من هبات الملابس التي شُحنت من أنحاء البلاد وأصابها التلف وهي تُفرغ وتُكدس في العراء (لعدم وجود أي أسقف باقية توضع هذه المواد من تحتها). وتنقل الناهبون في المناطق الخربة فنُشرت قوات الحرس الوطني كرد على ذلك [٤].

وكانت هناك خسائر كثيرة لم يؤمن عليها أو كان تأمينها بخساً، بل إن الكثير من شركات التأمين التي نجت بالفعل أصبحت راكعة على ركبها. وظل الكثير مما دمره أندرو بدون أن يعاد بناؤه حتى الآن.

ويجادل بعض الكتّاب على أساس القيمة الدولارية للدمار، بأن زلزال نورثريدج في كاليفورنيا يوم ١٧ يناير ١٩٩٤ كان كارثة قومية أعظم من إعصار أندرو، وإذا كانت الدولارات هي المعيار الأول فإن هذا قد يكون صادقًا حقًا: فالدمار في منطقة لوس أنجلوس في عام ١٩٩٤ بلغ ما يقرب من ٣٥ بليون دولار، تقارن بقائمة حساب من نحو ٣٢ بليون دولار للدمار الذي سببه أندرو في عام ١٩٩٢ في فلوريدا أساساً. والأعاصير لا تسبب انهيار الطرق الرئيسية ولا انفجار خطوط المياه والغاز. على أن أي مقارنة سيزيد من صعوبتها حقيقة أن دولارات خسائر الممتلكات الخاصة ربما تعكس الأحوال المحلية الواقعية لسوق العقارات أكثر مما تعكس مستويات دمار تقبل المقارنة. على أنه لا يمكن أن يكون هناك أي جدال في أن أندرو قد دمر بالفعل عدداً

من المنازل وشرد عدداً من الأفراد أكبر كثيراً مما فعله زلزال نورثريدج. ولم يحدث إلا في فبراير ١٩٩٥، أي بعد الإعصار بعامين ونصف العام، أن انتقل آخر ضحاياه الذين أُسكنوا في مقطورات مؤقتة ليعيشوا في أحياء سكنية دائمة. وبعد مرور ٤ سنوات كاملة على الحدث ظل ما يزيد عن ٢٠٪ من المباني التالفة في فلوريدا دون أن يتم إصلاحها أو إحلالها. أما إذا كان المعيار هو مدى التأثير الكلي في البشر، فإن إعصار أندرو يجب أن يوضع بلا خلاف في مرتبة أشد الكوارث الطبيعية تدميراً في تاريخ الولايات المتحدة.

ديناميات الجو

نحن نعيش في قاع محيط من الهواء فوق كوكب سريع الدوران سطحه يسخن بالشمس في غير تساو. فسطح الأرض يشع طاقة الحرارة لتعود ثانية إلى الفضاء، وأجزاء الأرض المختلفة تشع الحرارة بمعدلات مختلفة. ولما كان إجمالي ما يدخل من طاقة الشمس يوازن إجمالي ما يخرج من طاقة الإشعاع، فإن متوسط درجة الحرارة العامة للكوكب يظل ثابتًا إلى حد كبير (وإن كانت هناك أدلة على أن درجة حرارة الكوكب ربما تزيد حاليًا زيادة طفيفة جداً). على أنه يمكن على النطاق المحلي أن توجد تغيرات عنيفة في توازن الطاقة. وهذه اللا توازنات المحلية مقرونة بدوران الأرض هي التي تقود أحوال طقسنا.

ومن المفيد أن نوصف الجو كسلسلة من أغلفة متحدة المركز تحيط بالكرة الأرضية مثل طبقات البصلة. وأكثر الأغلفة الجوية انخفاضاً يسمى "التروبوسفير" وهو يمتد إلى ارتفاع نحو ١١ كيلو متراً (٧ أميال)، أو إلى أعلى بكيلومترات قليلة لا غير عن أعلى الجبال. ودرجة حرارة قاع التروبوسفير تماثل تقريباً حرارة سطح الأرض، على أن الحرارة في أعلاه يصل متوسطها إلى ٥٥°م (٧٠° ف). ومعظم السحب وكل ظواهر الطقس يقتصر وجودها على التروبوسفير. توجد فوق هذه المنطقة طبقة أرق تسمى التروبوبوز، وتمتد إلى ارتفاع نحو ١٦ كيلومتراً (١٠ أميال). وعند هذه النقطة تكون للجو كثافة منخفضة جداً، وإن كان لا يزال يمكنه حمل طائرة نفاثة وهي محلقة.

والطبقة التالية هى " الستراتوسفير"، التى تمتد إلى ٥٠ كيلو متراً (٣٠ ميل) فوق سطح الأرض ولكن درجة الحرارة فيها كلها ثابتة إلى حد كبير. أما فوق ذلك فلدينا "الميزوسفير"، ثم " الثرموسفير" وأخيراً "الإكسوسفير" الذى يتلاشى تدريجياً إلى الفضاء.

وبالمقياس الكوكبى، فإن كل الطقس يقتصر وجوده على غطاء جوى بالغ الرقة. وعلى الرغم من أن الأرض يبلغ قطرها تقريباً ٦٤٠٠ كيلو متر، إلا أن التروبوسفير يمتد لأعلى بأحد عشر كيلو متراً إضافية لا غير، أو ما يقرب من ذلك، وهذا يصل فحسب إلى جزءين من عشرة من ١٪ من المسافة إلى مركز الأرض. وإذن، ينبغى ألا يثير دهشتنا أن طقس الأرض يتأثر بقوة بالتفاعلات بين التروبوسفير وسطح الأرض، وهذه التفاعلات تتخذ أشكالاً كثيرة ولكننا نستطيع أن نلخص الظواهر الرئيسية كالتالى:

١ - عدم التساوى فى نقل الحرارة من سطح الأرض إلى الجو. فكتل اليابسة تسخن وتبرد بسرعة أكبر كثيراً من الكيانات المائية.

٢ - الحمل الجوى. الهواء الدافئ يتصاعد، والهواء الأبرد ينزل ليحل مكانه.

٣ - التبخر. الماء الدافئ يتبخر أسرع من الماء البارد، ويتبخر حتى بسرعة أكبر فى الرياح الشديدة

٤ - التبريد بالتمدد. يتمدد الهواء عندما يقل ضغطه، وينتج عن ذلك انخفاض فى الحرارة.

٥ - التكثف. يتكاثف بخار الماء من الجو عندما تنخفض درجة الحرارة عن عتبة فاصلة (تعتمد هذه العتبة على الضغط والرطوبة).

٦ - التسخين بالتكثف. بخار الماء يعطى حرارة عندما يتكثف ليكوِّن السحب والأمطار.

٧ - الانسياب المحدث بالضغط. تنساب كتل الهواء عموماً من المناطق ذات الضغط الجوى العالى إلى مناطق الضغط الجوى المنخفض.

٨ – ظاهرة كوريوليس. دوران الأرض يجعل كتل الهواء الكبيرة المتحركة تتبع مسارات منحنية بدلاً من مسارات فى خطوط مستقيمة. وهذا ينتج عنه دورات كبيرة المدى فى اتجاه ضد عقرب الساعة فى نصف الكرة الأرضية الشمالى ودورات فى اتجاه عقرب الساعة فى نصف الكرة الجنوبى.

٩ – إعاقة إشعاع الشمس. تلقى السحب ظلالاً تؤثر فى التوازن بين أشعة الشمس الداخلة والحرارة التى يشعها سطح الأرض.

١٠ – دورات النهار والليل. توازنات الإشعاع المحلية تتغير فى سياق أى فترة من أى أربع وعشرين ساعة.

١١ – الاضطراب. نادراً ما ينساب الهواء بلطف من مكان للآخر، ولكنه ينحو إلى إنتاج تيارات دائرية ودوامات أحجامها تختلف بمدى واسع.

١٢ – ظاهرة برنولى. يقل الضغط الجوى عندما تزيد سرعة الرياح.

ربما تكون معظم هذه الظواهر مألوفة بالفعل للقارئ فى شكل أو آخر. أما ما قد يكون أقل وضوحًا فهو أنها كلها بينها علاقة ارتباط وثيقة. فالشمس لا يمكنها أن تسخن سطح الأرض بدون إنشاء تفاضلات حرارية بين اليابسة والماء، وهذا بدوره يسبب تصاعد الهواء فى أحد الأماكن بسرعة أكبر مما فى مكان آخر، مما ينتج عنه تفاضلات فى الضغط الجوى، الأمر الذى يخلق الرياح، وهذه تدوم فى دوامات صغيرة وكبيرة وتحمل الرطوبة من مكان لآخر، بما يؤثر بدوره فى درجات الحرارة والضغوط، وهلم جراً.

من الواضح أنه توجد متغيرات كثيرة تسوق سلوك الجو، وهناك شبكة رياضيات عما بينها من علاقات وهذه الشبكة أبعد من أن تكون بسيطة. ونماذجنا الرياضية الحالية عن الديناميات الجوية ما زالت منقوصة تمامًا فى بعض التفاصيل، وخاصة تلك التفاصيل المتعلقة بالانسياب المضطرب. ولكن قد يكون هناك وراء هذه الثغرات فى فهمنا مشكلة تعد أساساً أكثر خطورة وهى مشكلة تواجه أى محاولة للتنبؤ بالعواصف والطقس: هذه المشكلة هى أن أطر الظواهر التى نستخدمها لتوصيف العناصر المختلفة لسلوك الجو ربما يحدث ببساطة أنها لا تنتظم معًا لتعطى القصة الكاملة. إن طريقتنا فى أداء العلم طريقة اختزالية، بينما الجو يسلك بطريقة كلية. وقد تكون هناك

اعتبارات مهمة تكون الحقيقة عندها شيئًا مختلفًا عن حاصل جمع أجزائها التى ندركها.

هل سيحدث قط أن ننجح فى التنبؤ بسلوك الجو بدرجة معقولة من الدقة على مدى أسابيع أو شهور مسبقة؟ بل هل من الممكن حتى نظريًا أن نفعل ذلك؟ على الرغم من أن هيئة المحلفين العلمية مازالت تبحث هذه المسألة، إلا أن الأدلة تطرح أن أمنا الطبيعة ربما تضع قيودًا جوهرية على مستوى التفاصيل التي يمكن لنا نحن البشر أن نتوقع التوصل لها عند التنبؤ بسلوك منظومات معقدة مثل الجو.

سوف نعود إلى هذه النقطة بتفصيل أكثر فى الفصل التاسع. أما الآن فدعنا ننظر فى بعض الأمور التى يبدو "بالفعل" أننا نعرفها.

الزوابع الحلزونية الاستوائية
(سيكلون) والأعاصير

من الناحية الدولية، فإن الزويعة "الحلزونية الاستوائية" هى المصطلح العام الذى يعطى لأى كتلة كبيرة دوارة من السحب والمطر تنشأ فوق المياه الاستوائية. وأنماط الطقس، هذه بما لها من إمكان تدمير، تنشأ فى حزامين عند خطوط العرض التى يتراوح مداها من نحو ٧° إلى ٢٥° شمال وجنوب خط الاستواء. ولما كانت الرياح السائدة فى المناطق الاستوائية تدفع الحلزونيات الاستوائية فى الاتجاه العام من الشرق إلى الغرب، فإن من غير المحتمل أن هذه الحلزونيات ستضرب خطوط الساحل التى تواجه الغرب. (ويستثنى من ذلك سواحل الهادى فى المكسيك وأمريكا الوسطى، التى تواجه بالفعل الجنوب الغربى وأحيانًا تنالها ضربة خاطفة من إحدى هذه العواصف) ويلخص جدول ١،٨ تصنيفًا للزوابع الحلزونية الاستوائية. وعندما تتجاوز سرعة الريح الدوارة ٦٣ كيلو مترًا فى الساعة (٣٩ ميل/س)، يصنف الحدث كعاصفة استوائية، وعندما تتجاوز سرعة الريح هذه ١١٩ كيلو مترًا (٧٤ ميل/س) تصبح

إعصاراً . والإعصار هو نفس الظاهرة المتريولوجية التى يشار لها بأنها (سيكلون) فى المناطق التى تحف بالمحيط الهندى. وبالطبع فإن الأعاصير نفسها تختلف اختلافًا واسعًا فى شدتها، وجدول (٨ ، ٢) يلخص مقياس سافير- سيمبسون لترتيب الأعاصير في فئات من ١ إلى ٥ .

جدول (٨ ، ١) تصنيف الحلزونيات الاستوائية

اضطراب استوائى	تظهر لفات دوارة فى أعلى، وإن كانت هينة أو غير موجودة عند السطح. لا توجد ريح قوية. وتكون خطوط التساوى (خطوط تساوى الضغط الجوى). متقطعة. وهى ظاهرة شائعة فى المناطق الاستوائية.
انخفاض استوائى	بعض اللفات الدوارة تمتد لأسفل للسطح. الرياح لا تتجاوز ٦٣ كم/س (٣٩ ميل/س). يتشكل خط تساوى واحد على الأقل فى حلقة مستمرة مغلقة.
عاصفة استوائية	لفات دوارة واضحة على مدى من الارتفاعات. سرعة الرياح بين ٦٣ كم/س و١١٩ كم/س (٣٩ ميل/س إلى ٧٤ ميل ساعة). خطوط تساوى مغلقة.
الإعصار	لفات دوارة قوية وواضحة جداً. سرعة الرياح المتواصلة تتجاوز ١١٩ كم/س (٧٤ ميل/س) خطوط تساوى مغلقة.

ملحوظة : السحب والامطار موجودة في كل الحالات .

جدول (٨ ، ٢) مقياس سافير - سيمبسون لشدة الأعاصير

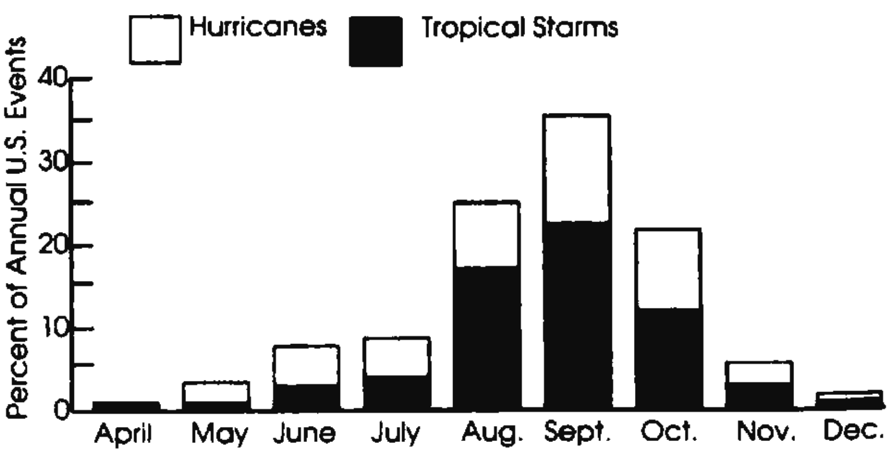
الفئة	التلف	سرعة الرياح (ميل/س)	الضغط الجوى (بوصات)	الموجة (قدم)
١	أدنى حد	٧٤ - ٩٥	٢٨,٩٤ أو أكثر	٤ - ٥
٢	متوسط	٩٦ - ١١٠	٢٨,٩١-٢٨,٥٠	٦ - ٨
٣	شديد	١١١ - ١٣٠	٢٨,٤٧-٢٧,٩١	٩ - ١٢
٤	أقصى الشدة	١٣١ - ١٣٥	٢٧,٨٨-٢٧,١٧	١٣ - ١٨
٥	كارثى	١٥٥ <	٢٧,١٧ أو أقل	١٨

ملحوظة: الضغط الجوى الطبيعى عند سطح البحر هو ١٠٢١,٢٥ مل خط، وهو ما يكافئ ٢٩,٩٢١٢٦ بوصة على بارومتر زئبقى، أو ضغط ١٤,٦٩٥٩٥ رطل/بوصة[٢]. وأدنى ضغط بارومترى عند سطح البحر هو ما سجل أثناء الإعصار جلبرت فى عام ١٩٨٨ ومقدار ٨٨٧,٩ مل خط، أو ٢٦,٢٢ بوصة زئبق.

وفى السنة النمطية ينشأ فى العالم كله حوالى ١٠٠ عاصفة استوائية، ثلثاها فى نصف الكرة الشمالى. وكل هذه العواصف تقضى معظم حياتها فوق الماء، وأغلبيتها لا تصل قط لليابسة. وتنشأ ١٥ عاصفة منها أو ما يقرب فى شرق الهادى وعادة ما تخمد فوق البحر بدون أن تحدث اضطراباً كثيراً. ويتولد فى شمال المحيط الهندى نحو ١٢ عاصفة فى السنة، منها ٨ قد تصل إلى قوة الإعصار، وأحياناً يسبب أحدها دماراً له قدره بطول خطوط الساحل فى الهند و/ أو بنجلاديش. أما غرب المحيط الهادى فهو أكبر منتج خصب للعواصف الاستوائية، بما يبلغ فى المتوسط نحو ٣٠ عاصفة فى السنة، قد يصل منها ما يقرب من العشرين إلى قوة الإعصار (وإن كانت لا تزال تسمى بأنها "تيفون"). ومرة أخرى فإن معظم هذه العواصف تخمد فوق المياه، وإن

كان يحدث فى كل سنة أن تنجح قلة منها فى إنزال الخراب بطول سواحل الفلبين واليابان.

يُنتج المحيط الأطلسى نمطيًا نحو ١٢ عاصفة استوائية فى السنة، يتنامى ما يقرب من نصفها إلى أعاصير (كانت سنة ١٩٣٣ هى سنة الرقم القياسى، حيث سجلت ٢١ عاصفة استوائية، أما سنة ١٩٥٥ فتعد السنة القياسية الثانية برقم قريب من الأولى). والرسم البيانى فى شكل (٨ ، ٢) يبين العواصف الاستوائية والأعاصير قرب خطوط سواحل الولايات المتحدة وكيف توزعت تاريخيًا عبر شهور السنة، وعلى الرغم من أن هذه العواصف الهائلة قد تنشأ فى أى وقت، إلا أنها إلى حد بعيد أكثر شيوعًا فى أغسطس وسبتمبر وأكتوبر. وجزر الكاريبى والساحل الشرقى لأمريكا الوسطى هما بالذات الأكبر عرضة لها، وتتعرض لها بدرجة أقل هونًا سواحل خليج المكسيك وجزره الحاجزية والولايات الشرقية من فلوريدا حتى ولايتى كارولينا. ولكن حتى عندما نبتعد شمالاً إلى رود أيلاند سنجد أن خطوط الساحل ليست آمنة، وكمثل، فإن إعصارًا سريع الانتقال دار إلى الشمال فى ٢١ سبتمبر ١٩٣٨ وأهلك ٢٠٠٠ فرد فى نيوانجلند التى لم تكن مستعدة له. والملحق ج يتضمن قائمة بأهم ما حدث فى الشاطئ الشرقى من عواصف استوائية وأعاصير.

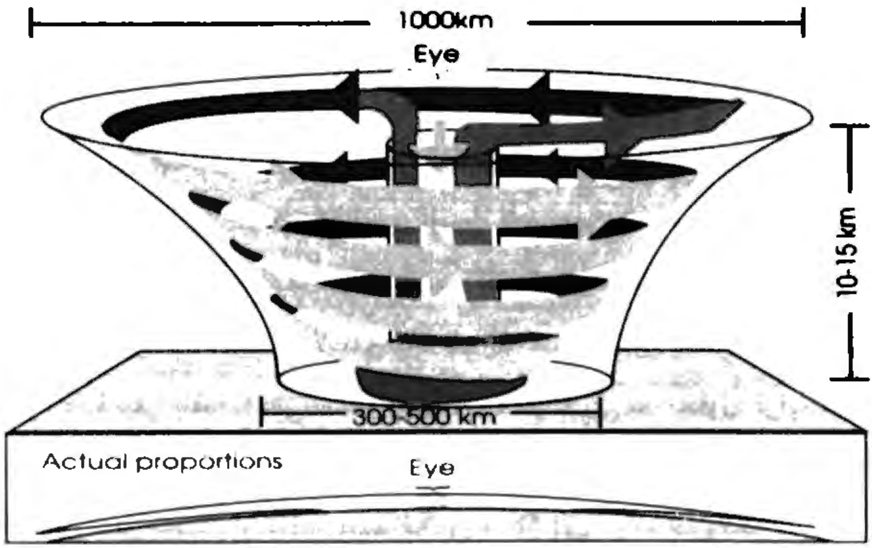


شكل (٨ ، ٢) التكرار النسبى فى كل شهر لما يحدث فى الولايات المتحدة من عواصف استوائية، وتلك التى تزيد شدتها إلى أعاصير. (مؤسس على ٨٦٨ حدث عبر القرن العشرين).

تنشأ الأعاصير كنتيجة لتوليفة نادرة جداً من الظروف المتريولوجية. وبداية، فإنها تحتاج إلى الكثير من الرطوبة فى الجو. ويجب أن يكون البحر دافئًا بما يكفي للإبقاء على معدل تبخر مرتفع، وليس هذا فحسب، وإنما يجب أيضًا أن تكون حرارة الماء أعلى من (٢٧ م) (٨٠ ف) لعمق لا يقل عن ٦٠ متراً (٢٠٠ قدم)، حتى لا يبرد سريعًا جداً عندما تظلله تشكيلات السحب من الشمس وتدفع تيارات الحمل المياه لأعمق إلى السطح. وثانياً، من اللازم أن تكون الرياح السطحية فى منطقة التبخر الشديد متجمعة من اتجاهات تكاد تكون عكسية. وهذا يضفي على الهواء حركة دائرية، ويقلل الضغط الجوى، ويجبر الهواء المحمل بالرطوبة على الاتجاه لأعلى. وعندما يأخذ بخار الماء فى هذا العمود المتصاعد من الهواء، فى التكثف إلى سحب، فإنه يطلق حرارة كامنة تزيد من دفء تيارات الهواء المتصاعدة وتسبب حتى نفثها لأعلى لارتفاعات أكثر. على أنه يكون هناك دائمًا عند كل ارتفاع رياح موجودة من قبل. وإذا كانت هذه الرياح تتغير تغيراً له قدره مع الارتفاع، فإنها سوف تمزق العاصفة إربًا وسريعًا قبل أن تتشكل، وبالتالى فإن أحد الشروط الأخرى هو أن هذه الرياح العالية الموجودة من قبل يجب أن تكون متسقة إلى حد معقول فى اتجاهها وشدتها. وفى الوقت نفسه فإن التيارات الهوائية الصاعدة تشد الهواء ليدخل من المناطق المحيطة، وإذا كان هذا الهواء المحيط بالغ الجفاف فإنه يخفف سريعًا من العاصفة. والشرط الرابع إذن، أن يكون كل الهواء حتى ارتفاع يبلغ نحو ٥٥٠٠ متر (١٨٠٠٠ قدم) هواء رطبًا إلى حد معقول. والحقيقة أنه إذا كان رطبًا بوجه خاص، فإنه سيزود العاصفة بجرعة إضافية من الطاقة عندما تتكاثف هذه الرطوبة الإضافية، فتزيد شدة العاصفة. وأخيراً فإن نفس قمة العاصفة المتكونة يجب أن يكون لها ضغط جوى أعلى من المناطق المحيطة التى على نفس الارتفاع. وإذا كان ضغط القمة أقل وليس أعلى، فإن كتل الهواء المحيطة سوف تتحرك لتدخل وتخمد العاصفة سريعًا من قمتها.

ولو أن أمنا الطبيعة سمحت لرجل أرصاد جوية بأن يجلس فى مقصورة التحكم فى أجهزتها لأيام معدودة، فإنى لأظن أن هذا العالم سيعانى من وقت عصيب جداً وهو يعمل على تخليق إعصار ناجح. فهناك عدد مذهل من العوامل التى يجب توليفها معًا لإنشاء الإعصار، وهناك ما لا نهاية له من السبل لأن يحدث خطأ ما. بل إن الحقيقة، أنه حتى عندما تدير أمنا الطبيعة بنفسها أجهزة التحكم، لن يتطور إلى إعصار إلا عدد أقل من ١٠٪ من الاضطرابات الاستوائية. على أنه عندما يتكون إعصار بالفعل فإن الظاهرة عادة تبقى بنفسها على استمراريتها لفترة طويلة إلى حد معقول: قرابة عشرة أيام فى المتوسط، وإن كانت أحيانًا يبلغ طولها أسبوعين. وأثناء مدة حياة العاصفة، لا يكون من غير المعتاد أن تنتقل بمسافة من ٢٥٠٠ إلى ٥٠٠٠ كيلومتر (١٥٠٠ - ٣٥٠٠ ميل).

الرسم التوضيحى فى شكل (٨ ، ٣) يبين الهندسة الأساسية لإعصار مكتمل النمو. والشكل العام هو شكل قُمع قطره نحو ١٠٠٠ كيلومتر عند القمة ثم يتناقص إلى حوالى ٣٠٠ إلى ٥٠٠ كيلو عند السطح. على أننا سنلاحظ أن هذا قمع جد عريض ومسطح، حيث يبلغ ارتفاعه من ١٠ إلى ١٥ كيلو متراً بما يقاس فحسب بأنه نحو ١٪ إلى ٢٪ من قطره - وهذه نسبة يصعب جداً إظهارها بمقياس الرسم الحقيقى للرسم التوضيحى. وفى المركز توجد "العين"، وهذه منطقة أسطوانية عرضها نحو ٣٠ كيلو متراً تمتد حتى قمة العاصفة. ولو كنا نقف فى العين، فقد نرى سماء زرقاء فى أعلى ونحس بأن الهواء ساكن سكونًا غير عادى (وإن كان فى الحقيقة يهوى علينا من فوق بسرعة تبلغ نحو ١٠ أمتار فى الدقيقة). على أنه يوجد فى جدار العين تيارات هوائية صاعدة عنيفة، وفى خارج هذه المنطقة مباشرة توجد أشد رياح العاصفة قوة.



شكل (٨ ، ٣) رسم توضيحي لهندسة الإعصار المكتمل

الضغط الجوى جانب مهم من العواصف الاستوائية، من حيث إنه يتيح لنا توقع سرعة الريح وارتفاع بروز العاصفة، أو موجتها. والضغط الجوى الطبيعى عند سطح البحر يبلغ قياسه ١٠١٣،٢٥ مل خط (٢٩،٩٢١ بوصة على بارومتر الزئبق). على أن الحلزونيات الاستوائية تصحبها ضغوط أقل من الطبيعية، وكلما زاد انخفاض البارومتر زادت القوة التى تدفع الرياح إلى المنطقة المركزية حيث يوجد أدنى ضغط. وأقل ضغط بارومترى سُجل عند سطح البحر فى الولايات المتحدة هو ٨٩٢،٣ مل خط (٢٦،٣٥ بوصة زئبق) وذلك أثناء إعصار مدمر من الفئة (٥) وهو إعصار يوم العمل فى ٢ سبتمبر ١٩٣٥ ، وكما ذكرنا من قبل، فإن الرياح العنيفة وموجة العاصفة قد أهلكا ٤٠٨ نسمة فى هذا الحدث. وهناك السجل المنخفض طوال الوقت الذى صحبه إعصار لم يضرب الولايات المتحدة (وإن كان قد أنتج بالفعل نتاجًا جانبيًا من تسعة وعشرين إعصارًا قُمعيًا (تورنادو) فى تكساس، أدت إلى دمار ممتلكات فى الولاية (تقدر بنحو ٥٠٠ بليون دولار). فى ١٣ سبتمبر ١٩٨٨ أرعد الإعصار جلبرت مارًا من خلال البحر

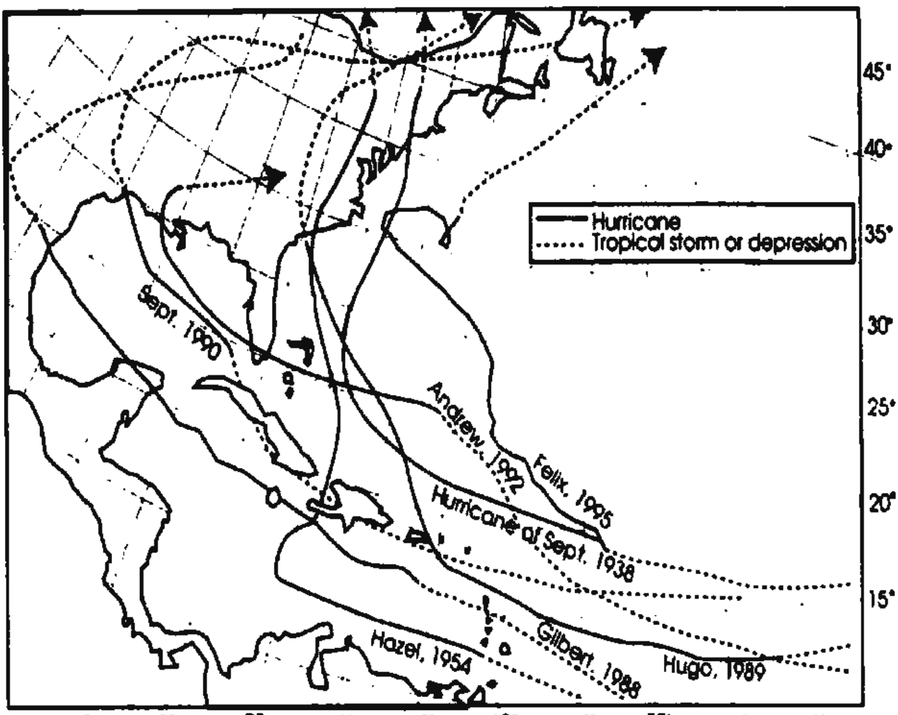
الكاريبي، ليقتل ٣١٨ فرداً في جامايكا، ثم واصل طريقه في منطقة يوكاتان في المكسيك، وبلغ إجمالي ما دمره من الممتلكات ٥ بليون دولار. وقد وصلت ذروة سرعة الرياح في هذه العاصفة الرهيبة ٢٩٨ كيلو متراً في الساعة (١٨٥ ميل/س) حيث انخفض مقياس الباروميتر إلى ٨٨٧,٩ مل خط (٢٦,٢٢ بوصة زئبق).

وإذا كانت الرياح تنتقل من مناطق الضغط العالي متجهة إلى مناطق الضغط المنخفض، إلا أنها لا تتبع في ذلك مسارات من خطوط مستقيمة، وبدلاً من ذلك فإنها بسبب من ظاهرة كريوليس (الناتجة عن دوران الأرض) تُجبر على أن تتحرك للداخل حلزونيًا متجهة إلى عين العاصفة. وإذا حدث لهذا التدفق من الهواء المحيط أن عادل من منطقة الضغط المنخفض المركزية، فإن العاصفة تتبدد، وهذا يحدث على نحو سريع نوعًا عندما تكون الدوامة فوق اليابسة. أما فوق المياه الاستوائية فإن الرياح الشديدة تلتقط باستمرار المزيد من الرطوبة، الأمر الذي يبقي على استمرارية العملية التي خلقت أول كل شيء منطقة الضغط المنخفض المركزية. والإعصار وهو فوق الماء يمكن النظر إليه كمحرك توربيني ضخم مصدر طاقته إشعاع الشمس ومادة شغله هي الهواء الرطب الدافئ، وما إن يبدأ تشغيل هذا المحرك حتى يواصل الزئير لزمن يظل مستمراً ما دام هناك إمداد مستمر من الحرارة والرطوبة.

تبدأ الأعاصير حياتها وهي تنتقل من الشرق إلى الغرب، لأن هذا هو اتجاه الرياح الغالبة في المناطق الاستوائية. وهي بعد ذلك تحول اتجاهها إلى خطوط العرض الأعلى، ويتغير الاتجاه في حالات كثيرة إلى الشرق قبل أن يتبدد الإعصار فوق المياه الأبرد الأكثر شمالية، أو يتبدد فوق الأرض. وتبين الخريطة التي في شكل (٨ ، ٤) مسارات بعض الأعاصير الكبرى للساحل الشرقي في القرن العشرين.

معدل سرعة انتقال الإعصار على طول مساره يشار له بأنه "سرعة العاصفة" وهذا ليس له علاقة مباشرة بسرعات الرياح التي تنشأ من داخل العاصفة. وبكلمات أخرى فإن إعصاراً من فئة ٤ قد ينتقل بسرعة أكثر أو أقل من إعصار من الفئة (١)، وهذان كلاهما قد يزيدان أو يقللان من سرعتهما على نحو محير. بل إن بعض الأعاصير تبقى ثابتة لزمن ما. ومن الصعب ذكر متوسط له مغزاه، ولكن العواصف التي تبلغ سرعة تقارب ١٦ كيلومتراً في الساعة (١٠ ميل/س) ليست من غير الشائع،

والسرعات التي تبلغ ٤٠ كيلو متراً في الساعة (٢٥ ميل/س) ليست من غير المعتاد، كما أن هناك حالات نادرة لأعاصير عرف عنها أنها تنتقل بسرعة عاصفة يصل أكبرها إلى ١٢٠ كيلو متر في الساعة (٧٥ ميل/س). ولنلاحظ أن العاصفة التي تتحرك ٨٠ كيلو متراً في الساعة (٥٠ ميل/س) ستنتقل لمسافة تبعد ١٩٠٠ كيلو متر (١٢٠٠ ميل)

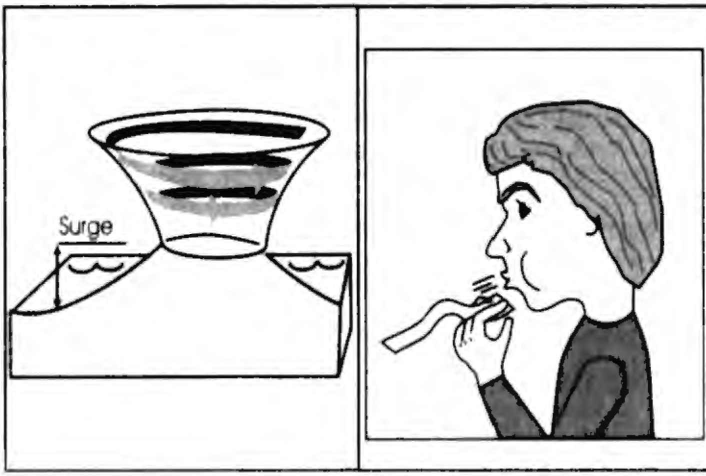


شكل (٨ ، ٤) المسارات التي تتخذها بعض الأعاصير النموذجية

(١٢٠٠ ميل) في يوم من أربع وعشرين ساعة. وهذه العواصف السريعة الانتقال تشكل بالذات خطراً على السفن ومجتمعات السواحل لأنها لا توفر إلا أدنى قدر من الوقت لينطلق الناس بعيداً عن مسارها.

كل إعصار يؤدي إلى نشأة بروز في المياه من أسفله، وهي ظاهرة تُعرف بأنها الموجة العاصفية أو "بروز العاصفة". ويسهل محاكاة هذه الظاهرة بالنفخ فوق شريط

من الورق كما فى شكل (٨ ، ٥) وسوف يرتفع الطرف السائب من الورقة فى تيار الهواء المتحرك. وفى الإعصار من فئة (٣)، قد يرتفع سطح البحر بما يصل إلى ٣،٦ متراً (١٢ قدماً)، وهذا أكثر مما يكفى لأن يسبب دماراً شديداً من الفيضان على طول معظم خطوط الشاطئ. والأسوأ من ذلك ما يجب أن نتذكره من أن موجة العاصفة



شكل (٨ ، ٥) أصل الموجة العاصفية. الرياح القوية والضغوط المنخفضة ترفع البحر فى بروز بما يشبه تماماً أنه عند النفخ فوق قطعة ورق يرفعها ذلك فى تيار الهواء

تركب فوق قمة موجات المد الموجودة، وأن الموجات التى تدفعها الرياح تركب فوق قمة هذه التوليفة المجمعة. وحاصل الجمع الكلى لذلك يمكن أن يكون مخرباً كما يشهد على ذلك كارثة جالفستون الرهيبة فى عام ١٩٠٠ (والتى نوقشت بالتفصيل فى الفصل الخامس). والأعاصير التى لها سرعة العواصف الكبيرة لا يكون لديها الوقت الكافى لأن ترفع موجة عاصفية كبيرة.

وكمثل ، فإنه من بين كل الدمار الذى أحدثه أندرو فى عام ١٩٩٢، لم يكن هناك إلا أقل القليل الذى يرجع سببه إلى فيضان مياه البحر. [٥] وأندرو من هذا الجانب يقف فى تباين مع كارثة جالفستون، حيث كان هناك إعصار (بلا اسم) لديه سرعة أقل

للرياح المتواصلة ولكنه يتقدم أمامنا تقدمًا جد بطيء بحيث كان لديه الوقت الكافى ليرفع موجة عاصفية هائلة ابتلعت الجزيرة بأسرها لساعات عديدة رهيبة.

وإذا كانت الأعاصير البطيئة الحركة تشكل أعظم تهديد من موجات العاصفة، فإن الأعاصير السريعة الحركة تشكل أعظم تهديد من الدمار بالريح عند نقط إلى اليمين من مسار العين. ويحدث ذلك لأن الحركة الأمامية للعاصفة ككل تتولف مع حركة الريح من داخلها ضد عقرب الساعة. وعند النقط التى إلى يمين مسار عين الإعصار تكون هاتان الحركتان فى نفس الاتجاه فتتضايفان، وعند النقط التى إلى يسار العين تكون سرعة الريح مضادة لسرعة العاصفة فتطرح إحداهما من الأخرى. ولنفرض مثلاً أن إعصاراً كان لديه سرعة ريح متواصلة ضد عقرب الساعة قدرها ١٦٠ كيلومتراً فى الساعة (١٠٠ ميل/س) واتجاه تحركه للغرب بسرعة للعاصفة تبلغ ٤٠ كيلومتراً فى الساعة (٢٥ ميل/س). ستتعرض إذن المنشآت التى إلى الشمال مباشرة من عين العاصفة إلى رياح سرعتها ٢٠٠ كيلومتر فى الساعة (١٢٥ ميل/س)، بينما إلى الجنوب مباشرة من العين ستضرب المبانى برياح سرعتها فقط ١٢٠ كيلومتراً فى الساعة (٧٥ ميل/س). وفى هذه الحالة فإن أعلى موجة للعاصفة ستحدث أيضًا شمال مسار العين. وهذا القدر الصغير من الإضافة للقوة الموجهة يحمل دلالات خطيرة بالنسبة لتخطيط الإخلاء، ذلك أن أحد الأمور التى ينبغى بكل تأكيد تجنبها هى أن نجعل الناس ينتقلون من مناطق على يسار العين إلى مناطق على يمينها. على أنه حتى مع بساطة المبدأ حسابيًا بساطة كافية، إلا أنه عند التطبيق يصبح أمرًا محيراً. فالأعاصير كثيراً ما تغير اتجاهها بدون أى إخطار، ونحن لسنا بارعين جداً فى مجرد التنبؤ بمكان وصول عين الإعصار إلى اليابسة، وطرقنا الرئيسية لا تسلك دائمًا فى الاتجاهات الأمثل بالنسبة لخطة إخلاء بعينها. وعادة تكون الإستراتيجية الوحيدة الواقعية هى فحسب أن ينتقل كل واحد لداخل اليابسة بعيداً عن خطوط الشاطئ، بحيث ينبغى ألا يحاول أى فرد قط أن يثبت للإعصار لعله يخرج منه سالمًا.

وفى الوقت نفسه، فإنه يوجد من خلال كل إعصار أحزمة من العواصف الرعدية، تُسقط بوصات عديدة من المطر فى كل ساعة بينما تخلق قدرًا كبيراً من الاضطراب قرب الأرض. وفوق ذلك، فبسبب تزايد سرعة الريح وهى تدور لولبيًا للداخل متجهة

لجدار العين، يحدث أحيانًا أن جيوبًا من الهواء المضطرب يُمسك بها بين تيارين للرياح يتحركان بسرعتين مختلفتين. وتأثير ذلك يماثل تلفيف قلم رصاص بين الراحتين: دوامة هواء تلف سريعاً. وهذه الظواهر قصيرة العمر يشار لها بأنها "دوامات صغرى" أو "عصفات صغرى" وهى على نحو نمطى يبلغ قطرها فقط ١٥- ٦٠ مترًا (٥٠ - ٢٠٠ قدم)، ولكنها يمكنها طيلة ثواني معدودة أن تنشئ سرعة ريح تزيد عن ٣٠٠ كيلو متر فى الساعة (٢٠٠ ميل/س). وأى شيء يكون فى مسار إحدى الدوامات الصغرى يتم تدميره فى التو. والأدلة ما بعد وقوع الحدث الحقيقى تطرح أن عدد ما تولد من هذه الدوامات المدمرة المؤقتة عندما ضرب أندر وجنوب فلوريدا بلغ ما يصل إلى المائة. على أنه حتى الآن، لا توجد أى بلاغات مؤكدة عن أى فرد قد شهد إحداها، وذلك لسبب معقول: فإن ثورة إعصار يهب مكتملًا ليست تمامًا بالبيئة التى تساعد على إجراء مشاهدات موضوعية.

إن هدفى فى كل هذا النقاش هو أن أنقل بعض الإحساس بالتعقد الهائل الذى نلاقيه عندما نحاول فهم ما يجرى فى أحد الأعاصير، قبل أن يفكر أحد قط فى كتابة رياضية وبرامج كمبيوتر لوصف هذه الظاهرة. فالأعاصير مليئة بأوجه عدم اليقين، بعضها له جذور تمتد مغروسة فى جهلنا، ولكن لعل جذور بعضها الآخر شيء متأصل داخل كيان الظاهرة نفسها. وبالطبع فإن الأمر الذى يكون عدم اليقين ملازمًا له فى الداخل منه لهو أمر لا يمكن التنبؤ به.

حياة وموت الإعصار إميلى ١٩٩٣

كان للكوارث الطبيعية عامها المميز فى الولايات المتحدة سنة ١٩٩٣ ، ففى ١٣ و١٤ مارس ضربت عاصفة ثلجية كبرى الشمال الشرقى، وأهلكت ٢٠٠ نسمة، وأتلفت مئات الآلاف من المبانى (انهار معظمها تحت ثقل متر أو أكثر من الثلج). ثم حدث ابتداء من أواخر يونيو بما امتد إلى أوائل أغسطس أن أغرق الفيضان الكبير فى عام ١٩٩٣ أكثر من ٨ مليون آكر(من أراضى المزارع فى حوض نهرى الميسورى والميسيسيبى، وقتل ٥٠ فرداً، وخلف ٧٠٠٠٠ بلا مأوى، وسبب خسائر فى الممتلكات

تبلغ ١٢ بليون دولار. وعندما أتى إعصار إميلى فى أعقاب هاتين الكارثتين الرئيسيتين، بالإضافة إلى نسف مبنى المركز التجارى العالمى فى نيويورك، فإنه لم يكن بالخبر الصحفي الكبير، كما أن عينه لم تصل قط لليابسة، ولم يقتل سوى نسمتين وأتلف فحسب ممتلكات بنحو ١٠ مليون دولار. إلا أن إعصار إميلى يوفر لنا بالفعل حالة دراسة نموذجية لكيفية نشأة الإعصار، وانتقاله وأفوله.

جدول (٨ ، ٣) فيه قائمة لبيانات عن إميلى أصدرتها الهيئة القومية للطقس، وهى على فترات تقرب من الست ساعات لفترة ١٥ يومًا من ٢٢ أغسطس حتى ٦ سبتمبر ١٩٩٣ .

جدول (٨ . ٣) تتبع بيانات الإعصار إميلى ١٩٩٣ (الهيئة القومية للطقس ، ميامى)

الاسم : إميلى

التاريخ : ١٩٩٣/٥/٩ ، تحرر ساعة ٢٣:٠٠

أحدث البيانات المتاحة لتبين الوضع الحالى لإميلى . انتهت التنبؤات بسبب بعد موضع إميلى عن الولايات المتحدة فى شمال المحيط الأطلسى.

البيانات الخاصة بوضع العاصفة :

شهر/يوم/سنة	توقيت	د/س	عرض	طول	ميل/س حركة	ميل/س ريح	ميل/س عصفة	ضغط	تعليقات
٠٨/٢٢/٩٣	EDT	١٧:٠٠	٢٠,٠	٥٣,٣	١٢ غ	٣٥		١٠٠٨	٥٨٥ MI شمال ليوارد IS
٠٨/٢٢/٩٣	EDT	٢٣:٠٠	٢٠,٣	٥٣,٣	٧ غ	٣٥		١٠٠٨	١٠٨٥ MI شرق سان جوان
٠٨/٢٣/٩٣	EDT	٠٥:٠٠	٢١,٧	٥٥,٤	١٢ شغ غ	٣٥		١٠٠٨	٩٣٠ MI جنوب شرق برمودا
٠٨/٢٣/٩٣	EDT	١١:٠٠	٢٣,٠	٥٧,٥	١٤ ش غ	٣٥		١٠١٥	٧٨٠ MI ج ج شرق برمودا
٠٨/٢٣/٩٣	EDT	١٧:٠٠	٢٣,٧	٥٨,٠	١٤ شغ	٣٥		١٠١٥	٧٢٥ MI ج ج شرق برمودا
٠٨/٢٣/٩٣	EDT	٢٣:٠٠	٢٤,٧	٥٨,٣	١٣ ش غ	٣٥		١٠١٥	٦٥٠ MI ج شرق برمودا
٠٨/٢٤/٩٣	EDT	٠٥:٠٠	٢٥,٤	٥٩,٣	١٣ ش غ	٣٥		١٠١٥	٥٨٠ MI ج شرق برمودا
٠٨/٢٤/٩٣	EDT	١١:٠٠	٢٧,٣	٥٩,٨	٨ ش غ	٣٥		١٠١٦	٤٥٠ MI ج شرق برمودا
٠٨/٢٤/٩٣	EDT	١٧:٠٠	٢٨,٣	٦٠,٢	٨ ش غ	٣٥		١٠١٦	٣٩٠ MI ج شرق برمودا
٠٨/٢٤/٩٣	EDT	٢٣:٠٠	٢٨,٤	٦٠,١	١ ش	٣٥		١٠١٤	٣٨٥ MI ج شرق برمودا

شهر/يوم/سنة	توقيت	د/س	عرض	طول	ميل/س حركة	ريح	عصفة	ضغط	تعليقات
٩٣/٢٥/٠٨	EDT	٠٥:٠٠	٢٨,٦	٦٠,٦	٢ ش غ	٣٥		١٠١٤	٣٥٠ MI ج شرق برمودا
٩٣/٢٥/٠٨	EDT	١١:٠٠	٢٨,١	٦٠,٦	ساكن	٣٥		١٠١٦	٣٨٠ MI ج شرق برمودا
٩٣/٢٥/٠٨	EDT	١٧:٠٠	٢٨,٦	٦٠,١	٤ ش	٣٥		١٠١٦	٣٨٠ MI ج شرق برمودا
٩٣/٢٦/٠٨	EDT	٢٣:٠٠	٢٨,٥	٦٠,٨	ساكن	٣٥		١٠١٤	٣٥٥ MI ج شرق برمودا
٩٣/٢٦/٠٨	EDT	٠٥:٠٠	٢٨,٦	٦١,٢	٣ غ	٣٥		١٠١٤	٣٣٠ MI ج شرق برمودا
٩٣/٢٦/٠٨	EDT	٠٨:٠٠	٢٧,٢	٦١,٠	٢ غ	٧٠		١٠٠٨	٤٢٠ MI ج شرق برمودا
٩٣/٢٦/٠٨	EDT	١١:٠٠	٢٧,٢	٦١,٤	٣ غ	٧٥		١٠٠٥	٤١٥ MI ج شرق برمودا
٩٣/٢٦/٠٨	EDT	١٧:٠٠	٢٧,٤	٦٢,٥	٣ غ	٧٥		١٠٠٥	٣٦٥ MI ج شرق برمودا
٩٣/٢٧/٠٨	EDT	٢٣:٠٠	٢٦,٦	٦٢,٩	٧ غ	٧٠		١٠٠٨	٤١٠ MI ج شرق برمودا
٩٣/٢٧/٠٨	EDT	٥:٠٠	٢٦,٦	٦٣,٩	٨ غ	٧٠		١٠٠٨	٤٠٠ MI ج شرق برمودا
٩٣/٢٧/٠٨	EDT	١١:٠٠	٢٦,٥	٦٤,٠٠	٧ غ	٧٠		٩٩٣	٤٠٥ MI ج برمودا
٩٣/٢٧/٠٨	EDT	١٧:٠٠	٢٦,٥	٦٤,٠٠	٩ غ	٧٠		٩٩٠	٤٠٥ MI ج برمودا
٩٣/٢٨/٠٨	EDT	٢٣:٠٠	٢٦,٥	٦٤,٩	١٠ غ	٨٠		٩٨١	٤٠٠ MI ج برمودا

شهر/يوم/سنة	توقيت	د/س	عرض	طول	ميل/س			ضغط	تعليقات
					حركة	ريح	عصفة		
٩٣/٢٨/٠٨	EDT	٥:٠٠	٢٦,٩	٦٦,٦	٩ غش غ	٨٠		٩٨٢	٨٥٠ MI شرق بالم بتش غ
٩٣/٢٨/٠٨	EDT	١١:٠٠	٢٧,٦	٦٧,٥	٩ غ شغ	٨٠		٩٨١	٨٠٠ MI شرق بالم بتش غ
٩٣/٢٨/٠٨	EDT	١٧:٠٠	٢٨,٣	٦٧,٩	٩ شغ	٨٥		٩٧٥	٧٨٥ MI شرق ج شرق ساحل كارولينا ج
٩٣/٢٩/٠٨	EDT	٢٣:٠٠	٢٩,٠٠	٦٨,٧	١٠ ش غ	٨٥		٩٧٥	٦٩٠ MI شرق ج شرق ساحل كارولينا ج
٩٣/٢٩/٠٨	EDT	٠٥:٠٠	٢٩,٨	٦٨,٩	١٠ ش غ	٨٠		٩٧٨	٦٣٠ MI شرق ج شرق ويلمنجتون N.C
٩٣/٢٩/٠٨	EDT	١١:٠٠	٣٠,٥	٦٩,٥	٩ ش غ	٨٠		٩٧٨	٤٨٠ MI ج شرق كيب هاتيراس N.C
٩٣/٢٩/٠٨	EDT	١٧:٠٠	٣١,٢	٧٠,١	٩ ش غ	٦٠		٩٧٩	٤٢٠ MI ج شرق كيب هاتيراس N.C
٩٣/٣٠/٠٨	EDT	٢٣:٠٠	٣١,٦	٧٠,٥	٩ ش غ	٨٥		٩٧٨	٣٩٠ MI ج شرق كيب هاتيراس N.C
٩٣/٣٠/٠٨	EDT	٠٥:٠٠	٣١,٨	٧١,٧	٨ غ شغ	٨٥		٩٧٧	٣٥٠ MI ج شرق كيب هاتيراس N.C
٩٣/٣٠/٠٨	EDT	١١:٠٠	٣١,٩	٧١,٨	٧ غ شغ	٨٥		٩٧٥	٣٢٥ MI ج شرق كيب هاتيراس N.C
٩٣/٣٠/٠٨	EDT	١٤:٠٠	٣١,٩	٧٢,٢	٧ غ	٨٥		٩٧٣	٢٨٥ MI ج شرق كيب هاتيراس N.C
٩٣/٣٠/٠٨	EDT	٢٠:٠٠	٣٢,٩	٧٣,٠٠	٨ غش غ	٩٥		٩٧١	٢٦٠ MI ج شرق كيب هاتيراس N.C
٩٣/٣١/٠٨	EDT	٢٣:٠٠	٣٢,٥	٧٣,٥	٩ غ شغ	١٠٠		٩٧٢	٢٢٥ MI ج شرق كيب هاتيراس N.C
٩٣/٣١/٠٨	EDT	٠٢:٠٠	٣٢,٨	٧٤,٠٠	٩ غش غ	١٠٠		٩٧١	١٩٠ MI ج كيب هاتيراس
٩٣/٣١/٠٨	EDT	٠٥:٠٠	٣٢,٢	٧٤,٥	٩ ش غ	١٠٠		٩٧٠	١٥٥ MI ج كيب هاتيراس

شهر/يوم/سنة	توقيت	د/س	عرض	طول	ميل/س			ضغط	تعليقات
					حركة	ريح	عصفة		
٩٣/٣١/٠٨	EDT	٠٨:٠٠	٣٣,٥	٧٤,٧	٩ شش غ	١٠٥	١٢٥	٩٦٥	١٣٠ MI ج ج شرق كيب هاتيراس
٩٣/٣١/٠٨	EDT	١١:٠٠	٣٤,١	٧٤,٨	٩ شش غ	١٠٥	١٢٥	٩٦٥	٩٠ MI ج ج شرق كيب هاتيراس
٩٣/٣١/٠٨	EDT	١٣:٠٠	٣٤,٤	٧٥,١	٩ شش غ	١٠٥	١٢٥	٩٦٧	٧٠ MI ج ج شرق كيب هاتيراس
٩٣/٣١/٠٨	EDT	١٤:٠٠	٣٤,٦	٧٥,٢	١٢ شش غ	١٠٥	١٢٥	٩٦٧	٥٠ MI ج ج شرق كيب هاتيراس
٩٣/٣١/٠٨	EDT	١٧:٠٠	٣٥,٢	٧٥,١	١٣ ش	١١٥	١٤٠	٩٦٤	٢٥ MI ج ج شرق كيب هاتيراس
٩٣/٣١/٠٨	EDT	٢١:٠٠	٣٥,٧	٧٥,٠٠	١٢ ش	١١٥	١٤٠	٩٦٠	٩٥ MI ج ج شرق فيرجينيا بيتش V.A
٩٣/٠١/٠٩	EDT	٢٣:٠٠	٣٦,٠٠	٧٤,٧	١١ شش	١١٥	١٤٠	٩٦٠	٩٠ MI ج شرق فيرجينيا بيتش V.A
٩٣/٠١/٠٩	EDT	٠٢:٠٠	٣٦,٦	٧٤,٤	٩ شش غ	١١٥	١٤٠	٩٦٢	٩٥ MI شرق فيرجينيا بيتش V.A
٩٣/٠١/٠٩	EDT	٠٥:٠٠	٣٧,١	٧٣,٩		١١٥	١٤٠	٩٦٣	١٢٥ MI شرق شاطئ V.A, V.A
٩٣/٠١/٠٩	EDT	١١:٠٠	٣٨,٠٠	٧١,٩		١١٥	١٢٥	٩٦٧	٢٥٠ MI ج -ج غ نانتكوكوت
٩٣/٠٢/٠٩	EDT	١٧:٠٠	٣٨,٥	٦٩,٨	١٢ ش غ	١١٠	١٢٥	٩٦٨	١٩٠ MI ج نانتكوكوت
٩٣/٠٢/٠٩	EDT	١٣:٠٠	٣٩,٤	٦٧,٣	١٣ ش	١١٠	١١٥	٩٦٨	٣١٠ MI ج يارموث ، نوفاسكويتا
٩٣/٠٢/٠٩	EDT	٠٥:٠٠	٣٩,١	٦٤,٥	١٢ ش	١٠٥		٩٧٠	٣٣٥ MI ج ج شرق يامو ث، نوفاسكويتا
٩٣/٠٢/٠٩	EDT	١١:٠٠	٣٩,٤	٦١,٩	١١ شش	٩٠	١١٠	٩٧٠	
٩٣/٠٢/٠٩	EDT	١٧:٠٠	٣٩,١	٦٠,٠	١٣ شش	٩٠	١١٠	٩٧٠	٦٢٥ MI ج ج كيب ريس نيوفوند لاند

شهر/يوم/سنة	توقيت	د/س	عرض	طول	ميل/س حركة	ريح	عصفة	ضغط	تعليقات
٩٣/٣١/٠٩	EDT	٢٣:٠٠	٣٨,٧	٥٨,٣	١٣ شش	٨٥	١٠٥	٩٧٥	٦١٠ MI ج ج غ كيب ريس
٩٣/٣١/٠٩	EDT	٠٥:٠٠	٣٧,٧	٥٦,٠	١٧ ش ش	٨٠	١١٠	٩٧٧	٤٠٠ MI ج ج غ شرق ساحل أيلاند
٩٣/٣١/٠٩	EDT	١١:٠٠	٣٧,٣	٥٨,٠	١٨ ش ش	٧٥	٩٠	٩٨٠	٦٩٠ MI ج ج غ كيب ريس نيوفوند لاند
٩٣/٣١/٠٩	EDT	١٧:٠٠	٣٧,٠٠	٥٧,٦	١٩ ش ش	٦٥	٨٠	٩٨٧	٧١٠ MI ج ج غ كيب نيوفوند لاند
٩٣/٣١/٠٩		٠٥:٠٠	٣٥,٢	٥٧,٢	٢٣ ش	٤٥	٥٥	١٠٠٢	٨٢٥ MI ج ج غ كيب نيوفوند لاند
٩٣/٣١/٠٩		١١:٠٠	٣٥,٥	٥٧,٥	٢٠ ش	٤٠	٥٠	١٠٠٢	٨٠٠ MI ج ج غ كيب نيوفوند لاند
٩٣/٠١/٠٩		١٧:٠٠	٣٦,٠٠	٥٧,٠	٢٠ ش	٣٥	٤٥	١٠٠٥	٧٦٠ MI ج ج غ كيب نيوفوند لاند
٩٣/٠١/٠٩		٢٣:٠٠	٣٧,٣	٥٦,٨	٢٠ ش	٣٥	٤٥	١٠٠٤	٦٧٥ MI ج ج غ كيب نيوفوند لاند
٩٣/٠١/٠٩		٠٥:٠٠	٣٧,٧	٥٦,١	١٧ ش ج	٣٠		١٠٠٦	٦٣٥ MI ج ج غ كيب نيوفوند لاند
٩٣/٠١/٠٩		١١:٠٠	٣٨,٢	٥٥,٣	صفر ش	٣٠		١٠٠٦	٥٩٠ MI ج كيب ريس نيوفوند لاند
٩٣/٠٢/٠٩		١٧:٠٠	٣٩,١	٥٣,٠	٣ ج ش	٣٠		١٠٠٨	٥٢٥ MI ج كيب ريس نيوفوند لاند
٩٣/٠٢/٠٩		٢٣:٠٠	٣٨,٩	٥٢,٥	٦ ج	٣٠		١٠٠٨	٥٤٠ MI ج كيب ريس نيوفوند لاند
٩٣/٠٢/٠٩		٠٥:٠٠	٣٩,٠	٥٠,٠	صفر ش	٣٠		١٠١٠	٥٥٠ MI ج ج شرق كيب ريس نيوفوند
		١١:٠٠	٣٩,٥	٤٨,٤	٥ ش	٣٠		١٠١٤	٥٨٠ MI ج كيب ريس نيوفوند لاند
					٧ ش				

وعلى الرغم من أن إعصار إميلى أنفق معظم حياته كانخفاض استوائى، إلا أنه تفجر إلى إعصار لمدة سبعة أيام، من ٢٧ أغسطس حتى ٢ سبتمبر، ووصل بذروته إلى الفئة الثالثة لمدة تقرب من ست وثلاثين ساعة. وبفحص جدول (٨ ، ٣) يمكننا رصد مشاهدات عديدة:

١- على الرغم من أن سرعة الريح كانت ثابتة نوعًا عند ٣٥ ميل/س فى أول تسعين ساعة من هذا السجل للبيانات، إلا أن سرعة العاصفة تباينت من الصفر إلى ١٤ ميل/س فى نفس الفترة. وسرعات العاصفة كثيراً ما تكون متقلبة وتتغير مستقلة عن سرعة الريح.

٢- مع انخفاض الضغط الجوى، زادت سرعة الريح. وكان أدنى ضغط جوى من ٩٦٠ مل خط يقابل أعلى سرعة للريح من ١١٥ ميل/س وأعلى سرعة للعصفات من ١٤٠ ميل/س. ومرة أخرى فإن الحال عموماً يكون هكذا: تحدث أسرع الرياح عندما ينخفض الضغط الجوى لأدنى حد.

٣- بدأت العاصفة بالتحرك إلى الغرب، ثم غيرت اتجاهها تدريجياً إلى الشمال، ثم إلى الشرق. والأعاصير تنعطف دائمًا إلى الشمال، ومعظمها ينهى حياته وهو يتحرك فى اتجاه شمالى شرقى.

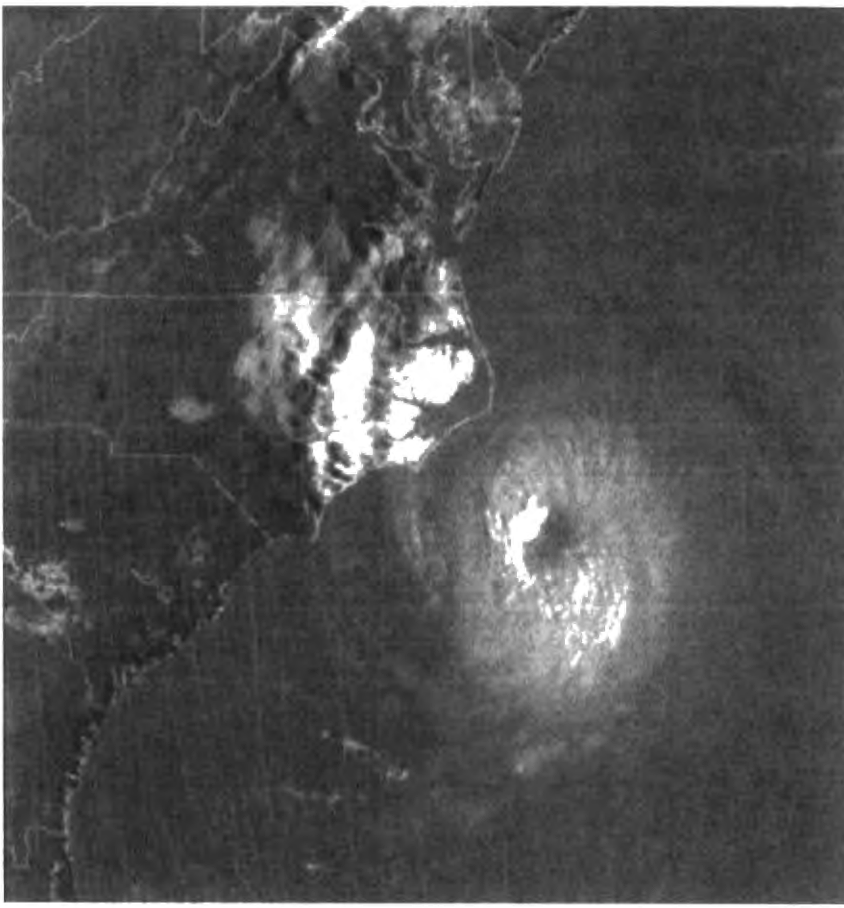
٤- أعلى سرعة عاصفة لإميلى كانت ٢٣ ميل/س، ووقتها كان الإعصار مازال لديه سرعات ريح خطرة ولكنه كان لحسن الحظ يتحرك بعيداً عن المناطق الساحلية. وفى فترة واحدة من ٢٤ ساعة (تبدأ من ١١ مساء أول سبتمبر)، غطى إعصار إميلى مسافة تقرب من ٤٨٠ ميلاً.

٥- لم يدخل إميلى فى فئة الإعصار إلا حين أصبح على خط عرض ٢٧,٢ شمالاً، وهذا حتى أبعد شمالاً عن مكان انبثاق أندرو كإعصار فى العام السابق.

٦- فقد إعصار إميلى شدته وهو فوق المياه الأبرد قرب خط عرض ٤٠ شمالاً .

٧- لا يظهر تغير فى الشدة بين النهار والليل. ذلك أن السعة الحرارية للبحار جد كبيرة بحيث لا تسخن أو تبرد سريعاً بشروق وغروب الشمس.

شكل (٨ ، ٦) يبين صورة قمر صناعى محسنة التقطت لهذا الإعصار قرب الساعة ٨ صباحًا فى ٣١ أغسطس ١٩٩٢ ، كان إميلى وقتها على بعد ١٣٠ ميل تقريبًا جنوب- جنوب شرق كيب هاتيراس، وهو يتحرك فى اتجاه الشمال الغربى بسرعة تبلغ نحو ٩ أميال فى الساعة، وهى سرعة ما زالت تتزايد شدة. وكانت هناك إشارات واضحة جدًا على أن إعصارًا من فئة ٢ أو ٣ سوف يضرب الأرض خلال ١٤ ساعة



شكل (٨ ، ٦) صورة بالقمر الصناعى لإعصار إميلى ١٩٩٢

(الصورة بإذن من بيرث بيكر، شركة البحر والفضاء)

فى مكان ما شمال ويلمنجتون، فى كارولينا الشمالية. وسوف تكون معظم الجزر الحاجزية عند أوتر بانكز إلى اليمين من العين ، وبالتالى فسوف تضربها عنيفًا أعنف الرياح وأكبر موجة عاصفية. ولما كانت ذكريات أندرو مازالت طازجة فى ذهن الجمهور من السنة الماضية، فقد اهتم كل الأفراد تقريبًا ممن يوجدون بطول خطوط الساحل والجزر المهددة بما يصدر من إنذارات الإخلاء.

ثم حدث فى الساعات الست التالية أن غيرت العاصفة اتجاهها تغييراً حاداً إلى الشمال – الشمال الغربى، وزادت سرعة العاصفة إلى ١٢ ميلاً فى الساعة. وكانت عين إعصار إميلى الآن تبعد فى البحر مسافة ٥٠ ميلاً لا غير وهو يتجه مباشرة إلى كيب هاتيراس. وفى المنطقة المجاورة لهذا المنار التاريخى، كان المطر يسقط فى حصائر معتمة، واندفقت موجات متكسرة هائلة لتسحق الشواطئ. وأى واحد لم يكن قد جلا بالفعل عن المكان لم يكن لديه أى خيار سوى أن يبقى مكانه لعله يخرج سالمًا. على أن سرعة العاصفة المتزايدة زادت أيضًا من قوة كوريوليس التى تحنى ببطء مسار معظم الأعاصير إلى اليمين. وبعد ثلاث ساعات فى حوالى الساعة ٥ مساء يوم ٣١ أغسطس كانت العين مازالت بعيدة عن الشاطئ بـ ٢٥ ميلاً تجاه رأس كيب هاتيراس، ولكنها كانت تتجه الآن شمالاً. وإذا كان الإعصار قد دخل فى التو إلى فئة ٣ مع رياح سرعتها ١١٥ ميل/س. إلا أن هذه الحقيقة لم تترتب عليها أى نتائج خطيرة، كانت منطقة أوتربانكز تقع الآن على الجانب الخلفى من الدوامة، والموقف هناك لن يصبح أسوأ. ومعظم الموجة العاصفية كانت بعيدة تمامًا فى البحر، إلى اليمين هونًا من مسار العاصفة. وتعرضت هاتيراس لرياح عنيفة سرعتها ٧٥ ميلاً فى الساعة، كما تعرضت لموجة ارتفعت لأكثر من ٥ أقدام، وتآكل الشاطئ، وأتلفت الرياح البيوت، على أن أيًا من هذا لا يصل إلى المقارنة بما كان يحتمل أن يحدث.

فلو أن الإعصار إميلى واصل اتجاهه شمالاً عند هذه النقطة، لكان قد سبب دمارًا له قدره بطول سواحل نيوجيرسى. ولونج أيلاند وربما أيضًا رود أيلاند وشرق ماساتشوسيتس. ولحسن الحظ فإن إعصار إميلى انحنى بدلاً من ذلك الانحناء إلى الشرق، ووصل إلى أشد قوة له عندما كان بعيداً فى البحر إلى حد آمن. وما إن غادر الإعصار جلف ستريم، حتى أصبحت المياه غير دافئة بالدرجة الكافية لأن يبقى

مستمراً. وأخذت رياحه تبطئ سرعتها تدريجيًا، وبدأ ضغطه الجوى يعلو ثانية تجاه الضغط الطبيعي، وبحلول منتصف نهار ٣ سبتمبر كانت مرتبة إميلى قد انخفضت إلى عاصفة استوائية. صنع إعصار إميلى وهو فى هذا الشكل الأخير التفافات وانعطافات غريبة، لم يفد أى منها فى مساعدته على استعادة قواه، ومرة أخرى انخفضت مرتبة شدته فى ٤ سبتمبر إلى اضطراب استوائى. وفى النهاية مات إعصار إميلى وحيداً بعيداً فى البحر، بعد أن مر زمن طويل على اهتمام أى فرد به.

الرياح والمنشآت

أثناء عاصفة شتاء فى ديسمبر ١٨٧٩ كان أحد قطارات الركاب يمر مدويًا فوق جسر حديدى نصبى مرتفع يمتد عبر خورتاى فى أسكتلندا. كان الجسر نفسه بجمالونه المفتح يتيح للرياح أن تمر معولة من خلاله بأقل اعتراض لها. على أن القطار كان يعمل كشراع عريض جداً يمسك بالرياح وينقل هذا الحمل الأفقى للرياح إلى القضبان المثبتة، بما سبب انقلاب الجسر والقطار معاً إلى المياه الثائرة أسفلهما. وهلك على الأقل ثمانون مسافراً فى هذا الفشل للجسر.

والمجتمع الهندسى ينحو بالفعل إلى أن يتعلم من أخطائه (بل إن الكثيرين من طلبة الهندسة يدرسون مقرراً فى "أوجه الفشل")، ولا يصمم الآن أى جسر للسكة الحديد بدون عمل حساب للتأثير المتزايد للرياح أثناء عبور قطار للجسر. على أن ميدان هندسة الرياح مازال صعباً جداً حيث تحدث فيه فعلاً أخطاء دقيقة، تكون أحياناً بسبب حماقة بشرية، ولكنها تكون أكثر من ذلك بسبب نقص فى المعطيات المتاحة أو النماذج الرياضية المتفق عليها. فنحن مازلنا لا نعرف كل ما يجب معرفته عن طريقة تفاعل رياح الطبيعة مع المنشآت التى يصنعها الإنسان [٦].

على أن معظم ما يحدث من وفيات وخسائر اقتصادية من الأعاصير لا ينتج عن إخفاقات فى المنشآت الهندسية، وإنما ينتج بدلاً من ذلك عن إخفاقات فى المساكن التقليدية. فالناس عادة لا يستأجرون مهندساً لتصميم بيوتهم الجديدة (وإن كان قد يحدث فى بعض المناطق التى تتعرض لأخطار كبيرة أن يكون مطلوباً توقيع مهندس

بالموافقة). وبدلاً من ذلك فإن معظم البنائين يتبعون لوائح البناء المحلية لا غير، وهذه بدورها تعكس معايير المواد والإنشاء التى لها سجل متابعة تاريخى يفيد بأنها فعالة. ولما كانت اللوائح ذات طبيعة اختزالية، فإن طريقة التناول هذه يلزم أن تؤدى من آن لآخر إلى مفاجآت كريهة. ومن الممكن مثلاً أن يكون هناك منزلان متماثلان على ارتفاعات مختلفة أو يختلفان فى الاتجاه الجغرافى فيختلف مصيرهما اختلافًا تامًا فى نفس عاصفة الرياح. ومن الممكن أيضًا بسبب اختلافات رهيفة فى انحدار السقف أو وضع النافذة أن يلعب ذلك دورًا كبيرًا فيما إذا كان أحد البيوت سوف ينجو باقيًا من هجوم تشنه رياح عنيفة.

سرعة الرياح عند مستوى الأرض مباشرة تكون صفرًا حتى فى أسوأ العواصف نفسها وحتى فى حقل فى العراء. أما ما يشار له بأنه "سرعة الرياح السطحية" فهو ليس فى الحقيقة سرعة الرياح عند سطح الأرض وإنما هو سرعتها عند ارتفاع مقنن بعشرة أمتار (٣٣ قدمًا) فوق الأرض، حيث تُركب عادة أجهزة قياس الريح. وابتداء من هذه النقطة سنجد أن سرعة الريح تزداد عمومًا بزيادة الارتفاع. وبالتالى فإن الرياح التى تقيسها طائرات أو بالونات لا تكون قياساتها مماثلة للرياح التى تجابهها المنشآت أسفلهما. ومقياس سافير- سيمبسون لدرجة شدة الأعاصير (جدول ٢ ، ٨) يشير إلى سرعة رياح تسمى "السرعة المتواصلة" عند ارتفاع ١٠ أمتار. وتستخدم الهيئة القومية للطقس بالولايات المتحدة متوسط سرعة عبر فترة من دقيقة واحدة لتحدد هذه السرعة المتواصلة، ولكن العصفات (كما رأينا فى إميلى فى جدول ٨ ، ٣) يمكن أن تحدث بمدى أكبر بماله قدره.

تولد الرياح العنيفة أنواعًا عديدة من القوى التى تؤثر فى منشأ ما. وأوضحها هى قوة القصور الذاتى، التى تنشأ عندما توقف واجهة للمنشأ (أو تعدل) العزم المتقدم لكتلة الهواء المتحركة. وهذه هى القوة التى نحس بها فوق راحتنا الممدودة للخارج عندما نبرز يدنا خارج نافذة سيارة متحركة. ومن الواضح أن قوة القصور الذاتى هذه تعتمد على توجيه راحتنا، فتكون أعظم عندما نحتفظ براحتنا عمودية على تيار الهواء – وهو الاتجاه الذى تُطرح فيه أكبر قوة أمامية. وتتزايد أيضًا قوى القصور الذاتى هذه مع تزايد سرعة الريح. ولسوء الحظ فإن هناك أيضًا عوامل أخرى تلعب دورها وتجعل

التنبؤ بدقة أمراً صعباً. على أننا يمكننا أن نحسب كقيمة نموذجية أن الجرم الذى يطرح منطقة أمامية مساحتها قدم مربع واحد سوف يتعرض لقوة قصور ذاتى من رطل واحد تقريباً فى الرياح التى تكون سرعتها ٢٠ ميلاً فى الساعة.

هل يعنى هذا أننا سنحصل على قوة من رطلين عند سرعة ريح من ٤٠ ميلاً فى الساعة، وثلاثة أرطال عند سرعة ٦٠ ميلاً فى الساعة، وهلم جرا؟ لا، فالأمر ليس بهذه البساطة (ولو كان الحال هكذا حقًا لما عانت المبانى من أى تلف خطير بالرياح إلا نادراً جداً). أما ما يحدث فى الحقيقة فهو أن كل مضاعفة بمثلين لسرعة الرياح تؤدى إلى زيادة قوة القصور الذاتى بأربعة أمثال، وزيادة سرعة الرياح بثلاثة أمثال تزيد قوة القصور الذاتى بعامل من ٢٣، أو بتسعة أمثال. ويمكن تلخيص هذه العلاقة كالتالى:

قوة القصور الذاتى للرياح تتناسب مع (سرعة الرياح)^{2}

وبالتالى فإنه بالنسبة لمنزل تطرح واجهته مساحة من ٤٠٠ قدم مربع، يمكننا أن نتنبأ على وجه التقريب بقوى القصور الذاتى الجانبية التى تنشأ مع زيادة سرعة الرياح:

سرعة الريح (ميل/س)	قوة القصور الذاتى (رطل)
٢٠	٤٠٠
٤٠	١٦٠٠
٦٠	٣٦٠٠
٨٠	٦٤٠٠
١٠٠	١٠٠٠٠
١٢٠	١٤٤٠٠
١٤٠	١٩٦٠٠
١٦٠	٢٥٦٠٠

ولنلاحظ أن المبنى الذى ينجو سليماً من ريح سرعتها ٨٠ ميلاً فى الساعة سيلزم أن "يكون أقوى بمثلين" حتى ينجو سليماً من إعصار سرعته ١٢٠ ميلاً فى الساعة.

ما وصفناه فى التو هو "ظاهرة القصور الذاتى فى حال مستقر": حيث قوة الريح التى تهب تكون مستمرة على نحو التقريب إزاء المبنى من الخارج. وينبغى ألا يخلط ذلك مع "ظاهرة العصفة"، حيث يندفع فجأة إحدى النوافذ أو أحد الأبواب مفتوحاً وتتفجر الرياح داخل المنشأ مدمرة إياه من الداخل. ولا يوجد أى قدر من الهندسة الإنشائية يمكن له أن يحمى أحد المبانى من ظاهرة العصفة. والأمر المعقول إلى حد أكبر كثيراً هو أن نتخذ كل احتياط ممكن للتأكد من أن النوافذ والأبواب لن تتحطم أو تنفتح فجأة أثناء الرياح العنيفة.

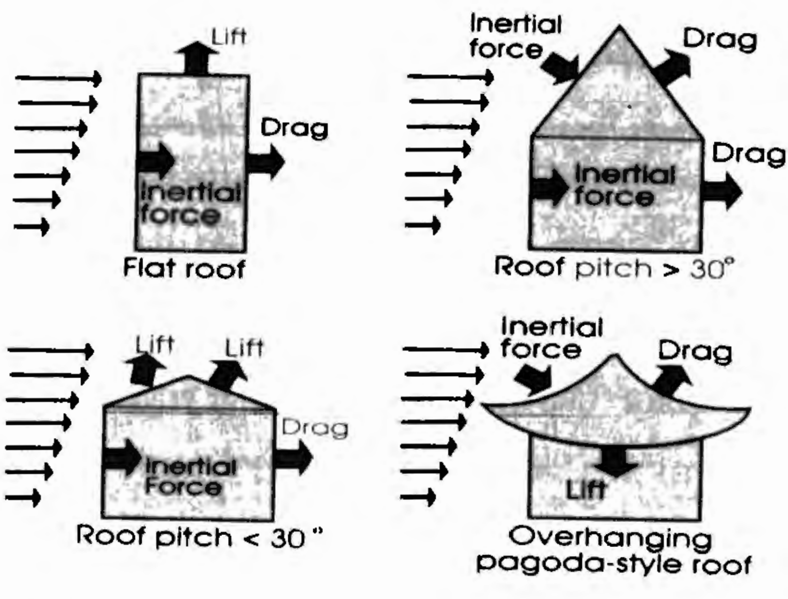
والريح العنيفة بالإضافة إلى ما لديها من قوة القصور الذاتى ستؤدى أيضاً إلى نشوء قوى هوائية دينامية على الأسطح المختلفة لأحد المبانى. وإذا كانت هذه القوى وتأثيرات تفاعلاتها فيما بينها مما يسهل فهمه، إلا أنها بالذات مما يصعب التنبؤ به. سبق أن ذكرنا كيف أن الرياح العنيفة ترفع بروزاً (الموجة العاصفية) فوق سطح المحيط. وبطريقة مماثلة فإن الرياح سوف تولد قوة تتجه لأعلى "قوة رفع" بالنسبة لأى سقف يكون منحدراً بزاوية تقل عن حوالى ٢٥ درجة، وتولد قوة تتجه للخارج بالنسبة لأى جدار يوازى تيار الريح. وبالإضافة، فهناك قوة شد مضطرب (يسمى أحياناً بأنه "امتصاص"، وإن كنت شخصياً أكره هذا المصطلح سوف تنشأ على أى سطح يواجه أسفل تيار الريح، بما فى ذلك الانحدار أسفل الريح فى جمالون (مسنمٌ) ينحدر انحداراً شديداً. بعض هذه التأثيرات مبينة فى الرسوم التوضيحية فى شكل (٨، ٧) ويعد أسلوب سقف الباجودا(*) (حالة مهمة، وذلك من حيث إنه يمكن أن ينشأ عنه رفع سلبى عند الأجزاء البارزة للخارج من السقف. فهذا يساعد بالفعل على الإبقاء على هذا السقف فى موضعه أثناء الرياح العنيفة، الأمر الذى يشهد عليه العدد الكبير من

(*) الباجودا معبد فى الصين أو اليابان أو الهند يشبه برجاً متعدد الأدوار مع بروز عند سقف كل دور (المترجم).

المنشآت اليابانية والصينية التى يبلغ عمرها قروناً عديدة ونجت سليمة من أعاصير استوائية "تيفون" عديدة خلال زمن حياتها.

وإذن فإنه فى أى عاصفة رياح كبرى، سوف يحدث دفع للداخل لبعض أجزاء المبنى بينما يحدث لأجزاء أخرى شد للخارج. وهذه التوليفة من الدفع داخلًا فى مكان بينما يشد الآخر للخارج توليفة ضارة بالذات وتؤدى مباشرة إلى إخفاقات إنشائية كثيرة. وبالإضافة إلى ذلك، فإنه مع تغير اتجاه الريح (وهو عادة يتغير أثناء أى عاصفة كبرى)، فإن الكثير من القوى تعكس اتجاهها. وكثيراً ما يحدث إضعاف لأحد المبانى خلال النصف الأول من الإعصار، ثم ينهار المبنى عندما تعكس الرياح اتجاهها بعد مرور العين.

ما الذى يمكن أن يفعله من يبنون منازلهم بأنفسهم؟ أشياء عديدة. عليهم ألا يعتمدوا على الجاذبية فى الحفاظ على البيت فى موضعه، وبدلاً من ذلك يثبتون كل شىء إلى الأساس. فيستخدمون أحزمة شد عند كل الوصلات الكبرى، خاصة بين لبش السقف (الحصائر) والجدران. وعليهم أن يتأكدوا من أن تكون كل مدخنة حجرية



شكل (٨ ، ٧) القوى التى تنقلها الرياح الشديدة إلى المبانى قوى تعتمد على شكل وتوجه المنشأ المعين

مسلحة بالحديد الصلب، ويستخدمون خشب الرقائق بدلاً من الخشب المضغوط وذلك لتغليف السطح والجدران، وتوضع مصاريع شغالة على النوافذ، وتجعل الأبواب الخارجية بحيث تفتح للخارج وليس للداخل. وحتى بعد ذلك، فإنه يجب عند صدور إنذار بإعصار أن يخلوا البيت ليلجئوا إلى ملجأ مدعم تكون قد تمت هندسته خصيصاً ليقاوم الرياح الشديدة. وإذا كان المنزل قد أقيم على النحو الصحيح فسيجده أصحابه فيما يحتمل قائمًا عند عودتهم. ولكن إذا كان فيه عيب إنشائي فلن يكون من المستحب أن يحاولوا تبين ما حدث له وسط الإعصار.

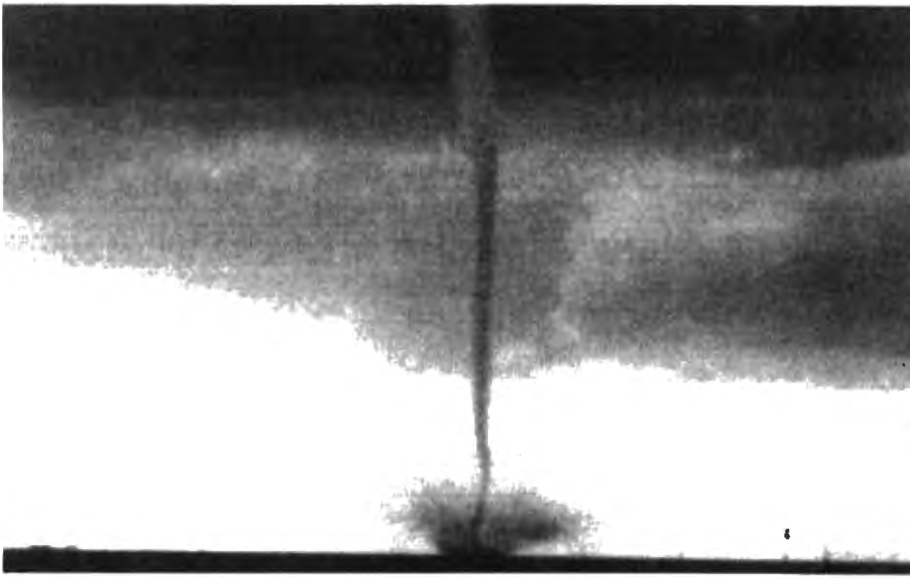
الأعاصير القُمعية (تورنادو)

عند السرعات العالية تنحو معظم السوائل والغازات إلى أن تدور فى دوامات ودوارات بدلاً من أن تنساب فى نعومة. وعادة فإن مناطق الحركة الدائرية هذه سرعان ما تتبدد بعد أن تتكون، وتصبح الحركة العامة مضطربة وبلا بنية. على أنه يحدث أحيانًا أن تتوصل الدوامة إلى نوع من شبه الاستقرار بما يسمح باستمرار بقاء الدوامة لدقائق كثيرة أو حتى لساعة. وأكبر مثل متريولوجى لهذه الظاهرة وأكثرها درامية وتدميراً هو الإعصار القُمعى.

من الصعب أن نصف "نموذجًا مثاليًا" لإعصار قُمعى، إلا بأن نقول إنه سحابة قمعية تدور فى دوامة سريعة، وتنبثق من عاصفة رعدية عنيفة، وتصل إلى الأرض. وبعضها يلمس الأرض لثوانى لا غير، وبعضها الآخر يلمسها لما يصل إلى ساعة كاملة، وبعضها يكون كمن يلعب الحجلة: فهو هنا لدقائق معدودة، ثم هناك لثوان معدودة. وبعض الأعاصير القمعية يكون عرضه فقط أمتاراً معدودة، وبعضها الآخر قطره مئات عديدة من الأمتار حتى عند القاعدة. وألوانها تتباين: فبعضها رمادى فاتح، والآخر قاتم، وعندما يعبر أحدها حقلًا محروثًا حديثًا فإنه سرعان ما يكتسب اللون البنى للتربة التى يغترفها. وبعضها يتكون فوق الماء وليس اليابسة. وتسمى هذه "بعمود الماء". وأحيانًا تُرصد الأعاصير القمعية فى أزواج يرقص أحد الفردين فيها رقصة عجيبة وهو يدور حول الآخر. وهى أيضا تكون فى عائلات: مجموعة من أعاصير قمعية

صغيرة تدور فى مدار حول إعصار قمعى كبير فى المركز. وعلى عكس الأعاصير الأخرى فإن التورنادو يمكن أن يلتوى إما فى اتجاه عقرب الساعة أو عكس اتجاهه (وإن كان من الواضح أن الأخير هو الأكثر تكراراً). أما ما تشترك فيه أعاصير الترنادو فهو أنها كلها مدمرة أبلغ الدمار. ومن غير العملى تماماً أن نحاول تصميم منزل يمكنه أن يبقى سليمًا بعد أن يتلقى من إعصار قمعى ضربة مباشرة (أو حتى ضربة تخطئه عن قرب).

والولايات المتحدة تحتكر واقعيًا الأعاصير القمعية، والقليل منها وحسب يتناثر فى جنوب وسط كندا وشمال شرق المكسيك، ولكنها بالفعل نادراً ما تحدث فى أى مكان آخر من العالم. وليس من ولاية آمنة من بين الولايات الثمان والأربعين المتجاورة. وأعلى معدل تكرار لها هو فى ولايات الغرب الأوسط والولايات الجنوبية الشرقية، أثناء شهور مارس وأبريل ومايو. والملحق ب فيه قائمة " بالأعاصير القمعية القاتلة " الكبرى فى آخر مائة عام. وعلى العكس من الفكرة المعتادة التى تقول إن الأعاصير القمعية ليست خطراً إلا فى أوكلاهوما وكانساس وتكساس، فإننا لو ألقينا نظرة سريعة على القائمة فسوف نتبين أن هذه الأعاصير قد أهلكت مئات كثيرة من الأرواح، ودمرت ممتلكات بملايين الدولارات فى العديد من الولايات. والصورة الفوتوغرافية فى شكل (٨ ، ٨) تعرض شكلاً نموذجيًا إلى حد كبير لإعصار قمعى فى تكساس، مع سحابة من الحطام تتصاعد من قاعدته. تقاس شدة الإعصار القمعى على مقياس فوجيتا (جدول ٨، ٤)، حسب سرعة رياحه. وعلى الرغم من أن هذا المقياس قد صمم أصلاً ليتراوح من ف – صفر إلى ف– ١٢، إلا أنه يُعتقد حاليًا أنه ما من إعصار قمعى يزيد قط عن شدة ف – ٥ (ذروة سرعة الرياح ٣١٨ ميل / س) . وحتى عند أرقام ف الأقل، نجد أن سرعة الرياح ما زالت جد عالية. والتلف بالعاصفة القمعية لا ينتج فحسب عن التأثير المباشر لهذه الرياح، وإنما ينتج أيضًا عن تأثيرات فرعية عديدة:



شكل (٨ ، ٨) إعصار قمعي يقترب من (دون) في تكساس يوم ٩ مايو ١٩٨٢
(الصورة بإذن من تيم مارشال)

١- التيارات التصاعدية الشديدة داخل القمع (وتُقدر بما يصل إلى ٢٠٠ ميل/ساعة).

٢- الضغط الجوى الشديد. الانخفاض فى القمع، والذى قد يكون أقل من الضغط البارومترى فى الجو المحيط برطل أو رطلين لكل بوصة مربعة، و ٣- تأثير الحطام الطائر.

والصورتان الفوتوغرافيتان فى شكل (٨ ، ٩) تبينان منظرين لما أعقب إعصار قمعيًا مدموجًا قوته ف - ٣ مرعداً من خلال منشأة إسكانية مبنية حديثًا فى ليمريك، ببنسلفانيا، فى شهر يونيو ١٩٩٤ وأصيب ما يقرب من عشرة منازل بالتلف أو الدمار الشديدين، بينما كانت هناك منازل كثيرة مجاورة لم يصبها أى تلف مطلقًا. ومن الواضح من الصور الفوتوغرافية أن المنشآت المخربة قد انفجرت للخارج وليس للداخل:

فراحت أسقف بالكامل من بيوت عديدة، وضاعت تماماً بعض الجدران الخارجية، ومن الواضح أن التلف عند المستويات العليا أكبر بما له قدره عن التلف عند المستويات الأقرب للأرض. وفيما يبدو فإن النوافذ المتعددة الألواح تصمد صموداً جيداً نوعًا إلا إذا أصابتها ضربة مباشرة من الحطام الطائر، وعلى الرغم من أن هذا كله يتلاءم مع ما سبق أن وصفناه بالفعل عما يُتوقع من تأثيرات الرياح الشديدة في المنشآت، إلا أن هناك نقطة إضافية جديرة بانتباه خاص، فالأعاصير القمعية يكون موضعها محدداً جداً حتى أن الضغط الجوى يهبط بصورة درامية خلال زمن لا يزيد عن ثوان عندما يمر أحدها راعداً. وإذا كانت الأبواب، والنوافذ مغلقة محكمًا (وستكون كذلك فيما يُحتمل، حيث إن هناك مطراً غزيراً). فإن ضغط الهواء داخل المنزل لا تكون لديه فرصة ليتساوى مع الانخفاض الخارجي في الضغط الجوى وكنتيجة لذلك، فإن كل بوصة مربعة من الجدار الخارجي ستتعرض لقوة دفع للخارج بما يبلغ رطلاً أو اثنين. ومع اعتبار أن جداراً من ٨ أقدام في ٣٠٠ قدم سيكون لديه سطح من نحو ٣٥٠٠٠ بوصة مربعة، فإن العاصفة القمعية عندما تمر عن قرب بمسافة قليلة سيمكنها بسهولة أن تولد قوة للخارج من ١٨ إلى ٣٥ طنًا على جدار واحد. ولا عجب من أن ينفجر منزل وهو تحت هذه الظروف. والحقيقة أنه يمكننا أن نشترى أو نستأجر شريط فيديو عن الأعاصير القمعية، ولو فحصناه بدقة سنجد أنه يبين بالفعل المبانى وهى تنفجر كنتيجة لما يحدث من عدم الاتزان سريعًا هكذا.

جدول (٨ ، ٤) مقياس فوجيتا لدراسة شدة الأعاصير القمعية

الفئة	التلف	سرعة الريح	قوة القصور الذاتى (رطل)
ف - ١	بسيط	٤٠ - ٧٢ ميل/س	تلف فى الأشجار واللافتات القائمة بذاتها، وبعض المداخن.
ف - ٢	بسيط	٧٣ - ١١٢ ميل/س	تلف فى الأسقف، البيوت المتحركة تدفع من أساسها، والسيارات المتحركة تكتسح من الطريق.
ف - ٣	شديد	١١٣ - ١٥٧ ميل/س	تقتلع الأشجار الكبيرة من جذورها، وتمزق الأسقف من البيوت، وتتهدم البيوت المتحركة، وتنقلب العربات ذات الصناديق، تلف فرعى من الحطام الطائر.
ف - ٤	مخرب	١٥٨ - ٢٠٦ ميل/س	البيوت جيدة الإنشاء تتفجر، السيارات تصبح محمولة بالهواء، تلف فرعى من المقذوفات الكبيرة.
ف - ٥	لا يصدق	٢٦١ - ٣١٨ ميل/س	ترفع المبانى من أساستها وتتفسخ فى الهواء، السيارات تُحمل لمسافات أكبر من ١٠٠م.
ف - ٦ وأكبر		ما يزيد عن ٣١٨ ميل/س	يعتقد حالياً أنها غير موجودة

ملحوظة: حوالى ٧٥٪ من كل الأعاصير القمعية تتجاوز شدتها ف - ١، ٣٥٪؛ ٣٥٪ تتجاوز ف - ٢، ٩٪ تتجاوز ف - ٣، ٢٪ تتجاوز ف - ٤ ويصل ما هو أقل من ٢٪ لدرجة ف - ٥ .





شكل (٨ ، ٩) آثار إعصار قمعي بقوة ف - ٣ فى بنسلفانيا ٢١ يونيو ١٩٩٤
(الصورة بإذن من شركة ليمريك فاير)

أى مبنى يقل كثيراً احتمال تعرضه للدمار من الإعصار القمعى إذا تركنا القليل من الأبواب أو النوافذ مفتوحة فى جانبه الموجود أسفل الريح. وعلى الرغم من أن هذا لن يحميه من ضربة مباشرة، إلا أنه يسمح للضغط بأن يتساوى إذا حدث ومر الإعصار الملتف قريباً جداً منه. ولسوء الحظ فإن هذه ليست دائمًا نصيحة عملية لأن اتجاه الريح قد يكون غير واضح وقت إخلاء السكان لبيتهم أو انتقالهم لغرفة النوم. ولو حدث وأساء المرء الحساب فترك النوافذ المواجهة لأعلى الريح مفتوحة، فإن تأثير العصفة سيكون مدمراً تماماً من حيث تأثير انفجار الهواء المحبوس فى الداخل. ويفضل معظم الخبراء التوصية بإغلاق النوافذ وترك الأمور المحتملة لتقع كما قد يكون.

تعتمد نجاة البشر أحياء من الإعصار القمعى على ألا يضربهم الحطام الطائر وعلى ألا ينجرفوا فيزيقيًا فى السحابة القُمع؛ وبكلمات أخرى يعتمد الأمر على تفاديهم للرياح العنيفة نفسها. وفى داخل البيت ينبغى على السكان أن ينتقلوا دائمًا إلى غرفة النوم أو إلى غرفة فى الدور الأول بدون جدران خارجية. وينبغى على أى فرد داخل سيارة أن يخرج منها، ويجثم أو يرقد فى مكان منخفض (حيث سرعة الريح تكون دائمًا قرب الصفر)، وألا يتشكى عندها من أن السيل المنهمر سيشبعه بالمياه. ولما كانت الظروف التى تخلق الإعصار القمعى تولد أيضًا قدراً كبيراً من البرق، فإن من المهم تجنب الأشجار والتخلص من الأشياء المعدنية مثل المظلات أو مضارب الجولف. وحتى عندما يكون الضحية فى العراء، فإنه ما من ضمان بأنه سيرى الإعصار القمعى وهو آت، فكثيراً ما يكون المطر والوابل المحيطان به غزيرين جداً بحيث إن بنية العاصفة القمعية نفسها تصبح معماة تماماً، على أن الناجين أحياء لا يغفلون قط القول بأنهم قد "سمعوا" العاصفة الملتفة، وكثيراً ما يقارنون صوتها بصوت قطار بضاعة تتزايد سرعته وهو يتجه إليهم.

على أن هناك خطراً آخر. ففى شمال وسط بنسلفانيا، الجزء الذى أنتمى إليه من الوطن، كثيراً ما يندهش الزوار بسبب العدد الكبير لحوادث المرور التى تتضمن الاصطدام بالأيائل. هل سائقو بنسلفانيا القرويون لا ينتبهون للطريق؟ والحقيقة أن السيناريو النمطى يجرى كالتالى: يرى السائق أيلاً، ويضغط الكوابح أو ينجرف ليتجنبه، ويرقب الحيوان وهو يختفى فى الغابة، ثم يصطدم بأيل آخر كان يتبع الأول.

والأعاصير القمعية، مثل الأيائل، كثيراً ما تنتقل فى جماعات، وعندما ينجح المرء فى تفادى الإعصار الأول منها فإن هذا لن يضمن ألا يكون مصيره اللقاء مع الإعصار الثانى أو الثالث أو الرابع من المجموعة. وعادة، فإن الظروف المضطربة التى تنشأ عنها الأعاصير القمعية تكون ممتدة عبر منطقة عريضة؛ وفى الظروف الشديدة العنف يمكن لصف طويل من السحب الرعدية أن يفرخ عشرات من الأعاصير اللفافة. وعدد الأعاصير القمعية لا يمكن التنبؤ به حاليًا (حتى ولا بالنسبة لواحد فقط)، إلا أنه مما يسهل تعيينه بعد الواقعة. فنحن لا نحتاج لأن نرى العاصفة القمعية وهى تُعمل فعلها حتى نعرف أنها قد مرت فى مكان ما: فيكفى ما سنراه بعدها من السيارات المقلوبة و/أو التى حملت بعيداً لمسافات كبيرة، والبيوت وقد ضاعت منها الأسقف، والأشجار الكبيرة وهى ملفوفة لتنخلع عند منتصف جذعها. وتحديد عدد العواصف القمعية المنفصلة فى أحد الأحداث لا يتطلب أكثر من أن نستوعب بحرص كل سجلات التلف بعد الواقعة. ونحن بالتالى نعرف أن أشد كوارث الأعاصير القمعية تاريخيًا قد نتجت عن أعاصير لفافة متعددة توجد معًا. وكمثل، فإنه فى ١٩ فبراير ١٨٨٤ مات نحو ٨٠٠ فرد فى سبع ولايات من تأثير ما يقرب من ٦٠ إعصاراً قمعيًا، وفى ٣ و٤ أبريل ١٩٧٤ حدثت ٣٥٠ حالة وفاة فى خمس ولايات نتيجة ١٤٤ إعصاراً قمعيًا. ويجب أن نضع فى الحسبان احتمال أن بعض هؤلاء الضحايا ظنوا أن الخطر قد انتهى حيث كان لايزال موجوداً. والحقيقة أنه فى أى وقت يرى فيه أو يسجل فيه وجود إعصار قمعى واحد، يكون من الحكمة أن نفترض وجود أعاصير قمعية أخرى فى المنطقة. فلا نفترض انتهاء الأمر إلا عندما تصير السماء زرقاء.

قيود التنبؤ

لا، لست أنوى التنقيب عن المعلومات ما بين المرتفعات والانخفاضات وخطوط التساوى والخطوط المنبوشة على خرائط الجو؛ فقد رأينا كلنا ما يكفى منها فى التلفزيون، نحن نعرف أنه بصرف النظر عن كل ما نحاوله من جعلها فى شكل علمى، إلا أن التنبؤات الجوية كثيراً ما تبقى غير دقيقة إلى حد الإحباط. أما ما أود أن

أتحدث عنه بالفعل فهو عن السبب فى أننا لا نستطيع أن نتوصل إلى دقة من ١٠٠٪ فى تنبؤاتنا الجوية، والسبب فى أنه قد يثبت فى النهاية أننا لن نتوصل إلى ذلك أبداً.

إن كل التنبؤ مؤسس على "الاستقراء بالامتداد"، وهذا مصطلح رياضى لتمديد سلسلة من نقط البيانات لما يتجاوز آخر قيمة معروفة. وأكثر الطرق سذاجة للتنبؤ بمستقبل أى شىء هى عمل استقراء بامتداد خطى. وكمثل، هيا نضع وعاء فوق موقد، ثم نقيس زيادة الحرارة خلال أول دقيقة ثم الثانية. ولنفرض أننا وجدنا أن درجة الحرارة زادت من ٢٥ °م إلى ٣٠° ثم إلى ٣٥ . وعلى هذا الأساس يمكننا أن نتنبأ بأن درجة الحرارة ستواصل الارتفاع خمس درجات مئوية فى كل دقيقة، بحيث إنه بعد ساعة ينبغى أن تكون حرارة الماء فى الوعاء عند ٢٥(+ (٢٤ × ٥ (م)،

أو بإجمالى ١٤٥°م وهذا جيد رياضياً، ولكنه ساذج علمياً. لماذا؟ لأن الماء ما إن يصل إلى ١٠٠°م حتى يأخذ فى الغليان، ولا يمكنه أن يزيد سخونة. وبعد ساعة من التسخين ستظل درجة الحرارة عند ١٠٠°م، إذا افترضنا أنه مازال هناك ماء متبقى فى شكل سائل.

فالتنبؤ العلمى يتطلب أن نفعل ما هو أكثر كثيراً من مجرد استقراء امتداد الأرقام بأسلوب خطى، وبدلاً من ذلك فإننا نحتاج أولاً إلى أن نفهم حقيقة العمليات الفيزيائية الكامنة فى الأساس. وفى الحالة البسيطة لوعاء الماء فوق الموقد، سنحتاج لأن نعرف كيف يتم توزيع الطاقة المدخلة بين الماء ووعائه (وكيف يعتمد هذا التوزيع على درجة الحرارة)، وسنحتاج لأن نعرف كيف ينقل الماء والوعاء معًا طاقة الحرارة إلى الهواء المحيط (ومعدل ذلك قد يكون أيضًا مما يعتمد على درجة الحرارة)، وسنحتاج إلى أن نعرف ماذا يحدث عندما يتغير طور الماء من السائل إلى الغاز. وإذا أمكن توصيف هذه العمليات رياضياً، وعرفنا كيف نحل المعادلات الناتجة، فإننا عندها ربما نكون قد اقتربنا من التنبؤ بدرجة حرارة المياه عند أى نقطة زمان فى المستقبل. وهذا! قدر كبير من العمل الذهنى للتنبؤ بحدث فيزيائى بسيط جداً!

والطقس، كما سبق أن رأينا، أمر أكثر تعقيداً بما له قدره عن وعاء ماء فوق موقد، فالطقس تدخل فيه العشرات من العمليات الفيزيائية، وبعضها (كالاضطراب

مثلاً) لا يذعن للتوصيف الرياضى البسيط. والطقس أيضًا يُغطى مناطق واسعة من الأرض (وكمثل، فإن رياح شتاء القطب الشمالى قد تؤثر مستقبلاً فى الجو فى فرجينيا) بحيث إن النماذج الرياضية ينبغى أن تتعامل لا فحسب مع التتابعات الزمنية، وإنما أيضًا مع التتابعات المكانية. وكلما أدخلنا المزيد من المتغيرات، أصبحت نماذجنا الرياضية أكثر اكتمالًا وأقل سذاجة. إلا أن هناك عيوبًا فى زيادة تعقد معادلاتنا: فعندما نزيد من عدد المتغيرات، نزيد فى نفس الوقت مقدار بيانات القياس التى نحتاجها لحساباتنا، ونزيد من وقت الحوسبة.

والكمبيوترات بالطبع قد ثوّرت من مقدرتنا على أداء حسابات معقدة مرهقة، وأن نفعل ذلك بسرعة البرق. على أن الكمبيوترات حاليًا لا تفكر بالفعل. وكل كمبيوتر يحتاج لأن يعطيه الإنسان مجموعة من التعليمات الرياضية الملائمة، ثم يحتاج بعدها لأن يغذيه إنسان بالبيانات المتعلقة بالأمر واللازمة لأداء الحسابات المبرمجة. والبرنامج والبيانات قضيتان مختلفان تمامًا، وأصولهما تنبع بطرائق مختلفة تماماً. إلا أن أى خلل فى أى منهما سوف يؤدى إلى تنبؤ خطأ، تنبؤ بحدث طبيعى يفشل فى أن يتبع النص المكتوب. وقد أدرك ألبرت اينشتين العظيم مشكلة البرمجة هذه قبل عهد الكمبيوترات الإلكترونية بزمن طويل، وذلك عندما قال، "الرياضيات بقدر ما تنطبق على الواقع تكون غير مؤكدة. والرياضيات بقدر ما تكون مؤكدة، فإنها لا تنطبق على الواقع". والنقطة هى أن نماذجنا الرياضية ليست إلا ما تكونه: أى إنها نماذج. والرياضيات اختراع بشرى، وأمنا الطبيعة ربما تخبئ فى كمها أشياء مختلفة تمامًا. ومن غير المحتمل أنه ستوجد قط أى منظومة رياضية تجعل كل أحداث المستقبل قابلة للتنبؤ تنبؤًا مضبوطًا.

ولكن دعنا نفترض أن أحد أتباع الشيطان قد كتب بالفعل برنامج كمبيوتر يتنبأ بموضع كل جزىء وسرعته فى المستقبل فى جو الأرض. والجزيئات نفسها تتفاعل بطرائق بسيطة نسبيًا، والمعادلات التى تحكم حركتها ليست بالذات مما يصعب حله. وقد يصمم برنامج كمبيوتر كهذا ليخبرنا أين سيذهب كل جزىء ومدى سرعة انتقاله فى أى لحظة معينة من المستقبل. وبمعرفة هذه المعلومات، سنتمكن عندها من حساب القياسات الماكروسكوبية لسرعة الريح، ودرجة الحرارة والرطوبة، والضغط الجوى عند نفس تلك

اللحظة من المستقبل - الأمر الذى يعنى أننا نستطيع بالفعل التنبؤ بالطقس لأى درجة تعسفية من الدقة. هل هذه هى الإستراتيجية التى قد تعطينا ثماراً ذات يوم؟

لسوء الحظ فإن الإجابة لا. فعمل نموذج لجو الأرض على مستوى التفاعلات الجزيئية أمر مستحيل تمامًا، حتى نظريًا. ذلك أن جو الأرض يحوى عدداً من الجزيئات أكبر كثيراً من عدد الإلكترونات (أو الفوتونات أيًا ما يكون الأمر) فى أى كمبيوتر يمكن تصوره، وبالتالى فليس من أى حوسبة إلكترونية يمكنها أن تجارى المعدل الذى تغير به كل جزيئات الجو سرعاتها وأوضاعها فى الزمان الواقعى. وهناك دائما مستوى من التفاصيل حيث الحسابات الرياضية لأى كمبيوتر تدور "ببطء" أكثر "مما يصاغ به نموذج الواقع. [٧] والبرنامج الذى يشكل نموذجًا للطقس على مستوى التفاعلات الجزيئية قد ينجح فى التنبؤ بالطقس، ولكن هذا الطقس سيكون طقساً قد حدث فى الأسبوع الماضى.

وبكلمات أخرى، فإن من المبادئ الأساسية أنه لا يوجد كمبيوتر يمكنه أن يصنع نموذجًا لسلوك شىء ما معقد أكثر من نفس معدة الكمبيوتر، وإلا فإنه سيصنع هذا النموذج على نحو أبطأ من المعدل الذى يحدث به واقعيًا. ولسوء الحظ فإن توقعات الطقس لا فائدة منها إذا كان الطقس نفسه يصلنا قبل التوقعات. وإذا أردنا أن نتجنب هذا الفخ، لا يكون أمامنا خيار سوى أن نقيد من التعقد فى نماذجنا فنتعامل مع بعض كيان أكبر من (وفيه عدد أقل عن) جزيئات الجو نفسها.

على أننا مع ذلك لا نطلب حقًا الضبط البالغ لتوقعاتنا للطقس. وكمثل، فإن أحداً لن يهتم إن كانت درجة الحرارة المتنبأ بها خطأ بثلاث درجات مئوية، أو إذا كان زمن وصول الإعصار خطأ بربع ساعة، أو كان ارتفاع موجة عاصفية يُتنبأ بها خطأ بعشرين سنتيمتراً أو ما يقرب. هل مازالت توجد أوجه قصور ملازمة لقدراتنا على التوقع إذا رضينا بأن نسمح لتنبؤاتنا بأن تكون مشوشة قليلاً؟ والإجابة بالطبع هى أن تنبؤاتنا تصبح حقًا ما يعتمد عليه بأكثر عندما نوافق على أن نسمح بالمزيد من "التشوش". على أن هذا لا يعنى أن أحداً قد وافق على السماح بعلم غير متقن، وإنما ما يعنيه

الأمر هو أننا نصطدم ببعض قضايا إبستمولوجية (*) أساسية تقيد من مدى جودة أحسن ما يمكن أن يكون عليه علمنا. وكنتيجة لذلك، فإننا لا نستطيع أبداً أن نضمن أن التشوش فى تنبؤاتنا لن يمتد أحيانًا إلى نسب غير متوقعة.

حتى نرى كيف يحدث ذلك، هيا نعود إلى نموذجنا الرياضى عن الجو، ولكن بدلاً من أن نصوغ نموذجًا لديناميات الجزيئات المفردة دعنا نحسب متوسط سلوك مجموعات صغيرة من الجزيئات. وبمجرد أن ننحرف عن الواقع، سنحصل فى أحسن الأحوال على تنبؤ تقريبى. ولكن هذا ينبغى أن يكون على ما يرام، لأننا وافقنا من قبل على أننا لا نحتاج لأن نضبط التنبؤ لأقصى الانضباط حتى يكون مفيداً لنا. وبالتالى، هل سنعانى من أى مشاكل "أخرى" إذا تصورنا أن الجو قد قُسم إلى عدد كبير من الخلايا المكعبة، يوصف كل منها حسب متوسط ما فيها من موضع الجزيئات وسرعتها؟

إن الإجابة لسوء الحظ هى نعم. لنفرض لغرض الحوسبة، أننا قد قسمنا التروبوسفير إلى ١٠٠ مليون من الخلايا المكعبة المتماثلة. وقد ثبت فى النهاية أن هذه الخلايا حجمها نحو ١٠ أميال مكعبة بما يتفق مع مكعب يصل طول جانبه إلى حوالى ٢,١٥ ميل. وهذه أحجام كبيرة تمامًا من وجهة النظر الجزيئية، حيث سيحوى كل مكعب ٢,٥ x ١٠ ٢٧ جزيئًا من الهواء، وبالتالى فإننا قد بسطنا الأمور بما له قدره. ومن حيث ما تتطلبه نماذجنا الرياضية فإننا سنحتاج لأن نقيس فيزيائياً أربعة لا غير من الإحداثيات الثرموديناميكية (**) لكل خلية. هناك بعض مجال فى اختيار الإحداثيات الأربعة المعينة، ولكن الحرارة والضغط والكثافة والتركيب الكيميائى تفى بالغرض تماماً). وبالتالى، فإن نموذجنا التقريبى ينبغى أن يتنبأ بالطقس بدقة معقولة لو أننا غذيناه بالأربعمائة مليون قياس جوى، التى تمت كلها فى نفس اللحظة الزمنية.

(*) نسبة للإبستمولوجيا وهى فرع الفلسفة الذى يبحث فى أصل المعرفة وتكوينها ومناهجها، وكذلك الدراسة النقدية لمبادئ العلوم وفروضها ونتائجها . (المترجم) .

(**) الثروموديناميكية أو الديناميكا الحرارية، علم يدرس العلاقة بين خواص المواد وتفاعلاتها التى تتأثر بالحرارة وتحول الطاقة من وجه لآخر (المترجم) .

ولكن هل هذا أمر واقعي؟ إنه لأبعد من أن يكون واقعيًا. وببساطة، لا توجد أى طريقة للحصول على هذه الثروة من البيانات المتزامنة باستخدام أى تكنولوجيا فى المستقبل القريب.

نحن الآن يمكننا الحصول على قياسات كثيرة باستخدام أجهزة الطقس فى الأقمار الصناعية، والقياس عن بعد للأوضاع الكوكبية، ورادار دوبلر المثبت فى الأرض، والأجهزة المعتادة للمحطات الثابتة، ولكن الأمر فحسب أنه لا توجد أى طريقة لإجراء مئات عديدة من ملايين القياسات تجرى فى الوقت نفسه معًا لنغذى بها مباشرة كمبيوتر مركزيًا. وعندما نصل إلى ذلك اليوم الذى يكون لدينا فيه هذا المستوى من القدرات سوف نكون كلنا أكثر رضا عن معظم تنبؤاتنا اليومية بالطقس. ولكن ما لدينا من أوجه شذوذ درامية فى الطقس، مثل الأعاصير والأعاصير القمعية، ستظل دائمًا جد حساسة للتفاصيل التى تكمن محتجبة فى المكعبات الجوية المحدودة التى تحتاج نماذجنا الرياضية للعمل بها. وعندما يصطدم العلم بالقيود الأساسية على ما يمكن قياسه وما يمكن توصيفه رياضيًا، فإن أمنا الطبيعة ستواصل أن تكون حرة فى التحكم فيما تخرج به علينا من مفاجآت فى المستقبل.

الهوامش

(1) R. Monastersky, Unusual weather spurred Andrew's growth, Science News, Sept. 5, 1992, 150.

(2) Most of this account is drawn from articles in the Miami Sun-Sentinel and the Boca Raton News for the period August 23 through August 30, 1992, plus local news, telecasts and personal interviews with several individuals who experienced the event.

(3) S. Borenstein, Mini-swirls, microbursts boosted Andrew's power, Miami Sun-Sentinel May 20, 1993, pp. 1A, 12A.

(4) R. Gore, Andrew aftermath, National Geographic, Apr. 1993, 2-37.

(٥) وصلت الموجة العاصفية بإعصار أندرو، إلى ١٦,٩ قدمًا بالفعل عند أحد المواضع في خليج بسكاين، ولكن هذا الحد الأقصى كان محدداً في في موقعه إلى درجة كبيرة ولعله كان في جزء منه ظاهرة رنين تتعلق بشكل الخليج، ومن غير المعتاد لأقصى حد أن يولد إعصار سريع الحركة موجة عاصفية لها مغزاها.

(6) For an overview of this topic, see Henry Liu, Wind engineering: A handbook for structural engineers (Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1991).

٧ - ليست هذه فكرة جديدة، كما أنها ليست افتراضية. وقد كُلفت في أواخر الستينيات بمهمة إنشاء نماذج رياضية ومحاكيات كمبيوتر لعمليات تصنيع لمصنع صلب كبير. وباستخدام الكمبيوترات البطيئة في ذلك الوقت تكرر أن نجد أنفسنا مجبرين على تبسيط نماذجنا الرياضية حتى لا يتجاوز زمن الحوسبة الزمن الحقيقي للعملية التي يُصنع النموذج لها. والقيد هنا قيد حقيقي جداً، وحتى مع ما لدينا الآن من كمبيوترات أقوى، فإن هناك بالضرورة مستوى معيناً من التفاصيل يحدث عندها أن يتغلب تعقد العالم الواقعي على قدرة الكمبيوتر على توصيف ديناميات هذا العالم في زمن أقل من زمنها الواقعي.

الفصل التاسع

العلم والظواهر التى لا تقبل التكرار

ظاهرة الفراشة

هل يمكن لفراشة فى غابة مطر بغرب أفريقيا، عندما تطير إلى يسار شجرة بدلاً من يمينها، أن يؤدى ذلك فيما يحتمل إلى بدء تحريك سلسلة من الأحداث تتصاعد إلى إعصار يضرب ساحل كارولينا الجنوبية بعد مرور عدة أسابيع؟ ومع ما يبدو من غرابة هذه المقدمة المنطقية إلا أن الأبحاث فى العقود القليلة الأخيرة تطرح أن الإجابة هى نعم، وأن هذه الظاهرة لا تقتصر على الفراشات. فهناك الكثير من الظواهر الكبيرة الحجم التى تهدد الحياة البشرية ومع ذلك فإنها مازالت تتحدى الجهود للتنبؤ بها عمليًا- كالأعاصير القمعية والزلازل وثورات البراكين والأوبئة - ويبدو أنها كلها لها خاصية واحدة مشتركة: اعتماد حساس على متغيرات تبدو وكأنها غير ضارة عند ظروفها الابتدائية. فهذه ظواهر حيث يحدث كثيراً أن تتصاعد اضطرابات صغيرة إلى اضطرابات أكبر، وإذا تغير العامل المسبب الأول تغيراً طفيفًا لا غير، فإن النتائج الأكبر يمكن أن تختلف اختلافًا دراميًا تمامًا.

وبالطبع، فإن أحداً لم يرصد قط إحدى الفراشات، وهى تقدح الزناد لوقوع إعصار. والأدلة الفيزيائية على ظاهرة الفراشة أشد رهافة من ذلك بماله قدره، ولا تبدأ فى أن يكون لها معنى معقول إلا عن طريق محاجات نظرية معينة. وأحد خطوط الاستدلال المقنعة إلى حد كبير تجرى كالتالى: إذا أردنا ذات يوم أن تكون لنا القدرة على التنبؤ بالأعاصير فى المستقبل، سنحتاج أولاً إلى تعيين المعرفة اللازمة مسبقًا

لما كان سيتيح لنا التنبؤ بالإعصار الحالى. وينبغى أن تكون هناك طريقة بسيطة لفعل ذلك: فما علينا إلا أن نقلب ما هو موثق عكسيًا. سنأخذ بيانات وافرة أثناء نشأة الإعصار، ثم نرجع بها وراء فى الزمن لنرى كيف ابتدأ الحدث أول كل شىء. و عندما نعين كيف بدأ الحدث، ونعرف كيف تتابعت الخطوة ج من الخطوة ب وهذه من الخطوة أ، فإنه ينبغى أن يكون لدينا هكذا برنامج للتنبؤ بأحداث المستقبل من نفس هذا النوع.

والحقيقة أن هذه الإستراتيجية للبحث قد اتبعت مرات كثيرة، لتنتهى دائمًا بفشل كئيب عندما تطبق على الظواهر الطبيعية المعقدة. والمشكلة هى أننا نستطيع أن نرى فحسب تفاصيل جد كثيرة، ونستطيع أن نقيس فحسب بدرجة ضبط مقيدة، ونستطيع الحوسبة بدقة محدودة. هناك الآن حشد من الأقمار الصناعية تدور حول كوكبنا، وهى تمدنا حقًا بكميات هائلة من معلومات كثيرة التفاصيل: وفى حدود ما لدينا من تكنولوجيا هناك معلومات عن تغيرات الحرارة بدقة من أجزاء قليلة من الألف من الدرجة الواحدة، ووضوح فى التحدد الهندسى بما يقرب من ٣٠ سنتيمترًا (قدم واحد) أفقيًا وسنتيمترات معدودة رأسيًا. ولكن لو فرضنا أن عاصفة استوائية تنشأ، وأننا ندير وراء سجل بيانات الأيام القليلة الماضية. ما الذى سنجده عندما نذهب وراء فى الزمان؟ عاصفة أصغر، ثم اضطراب أصغر، ثم بقعة دافئة رطبة مليئة بالرياح، ثم مجموعة من الظروف الجوية تبدو غير مختلفة عن تلك التى فى مواقع أخرى كثيرة فى المناطق الاستوائية. ما هو ذلك الشىء الذى يضرب بسوطه بعض هذه التراوحات الجوية الصغرى لتصبح أعاصير مكتملة النمو، فى حين ان تراوحات أخرى تتشتت بدون أن تسبب أى إزعاج أكثر من تطيير قبعة أحدهم فى أفريقيا؟ من المستحيل الإجابة عن ذلك إجابة أكيدة. وكل ما نعرفه هو أن العامل المسبب الأساسى لابد وأن يكون شيئًا صغيرًا جدًا، لأن كل أجهزتنا المكلفة المعقدة، لا تستطيع الكشف عنه. وعندما يجابه العلماء بشىء أمره غريب جدًا هكذا، فإنهم كثيرًا ما ينزعون إلى النزوات، ومن هنا تكون بالتالى "ظاهرة الفراشة". فالمقدمة هنا هى بالاعتماد اعتمادًا حساسًا للغاية على الظروف الابتدائية. وسيصلح لهذا الغرض أيضًا الطير الطنان والسنجاب الطائر.

وظاهرة الفراشة لا تقتصر على مولد العاصفة ولكنها تنطبق أيضًا على تناميها فى المستقبل (وهو كما رأينا فى الحالة التفصيلية للإعصار إميلى أمر يمكن أن يكون

معقداً تماماً). لماذا مثلاً يحدث مراراً أن تغير الأعاصير من سرعة واتجاه العاصفة؟ لو أمكننا فهم ذلك لربما استطعنا على الأقل تحسين دقة تنبؤاتنا عن المكان والزمان اللذين يصل فيهما إعصار معين إلى اليابسة. ونحن الآن نبرمج ما لدينا من الكمبيوترات بعشرات المعادلات للتنبؤ بمستقبل مسار العاصفة بعد مولدها، ونغذي هذه المعادلات بمئات الآلاف من قيم لبيانات نبعت أصلاً من قراءات مباشرة لأجهزة معقدة؛ ومع ذلك فإن تنبؤاتنا ليوم واحد لا غير في المستقبل مازالت في أحسن الأحوال بدقة هامشية فحسب. ما الخطأ الذي يحدث؟

لقد اكتسبنا تبصراً في الإجابة من مقارنة محاكيات الكمبيوتر لعواصف افتراضية لا تختلف ظروفها الابتدائية إلا اختلافاً بالغ الدقة. يتم الإمداد بالبيانات الابتدائية الافتراضية، وتنشأ محاكاة عاصفة على شاشة الكمبيوتر، مع أعمدة من الأرقام تخبرنا بالطريقة التي تتغير بها مختلف المتغيرات القابلة للقياس مع مرور الزمن وتطور العاصفة، كتغير سرعة الريح، وسرعة العاصفة، والحرارة، والضغط الجوي وغير ذلك. ومصطلح "البيانات الابتدائية" هنا لا يشير إلى بيانات من وقت مولد العاصفة (وعلى كل فإن هذا الوقت مازال غير معروف)، وإنما يشير إلى بيانات عند بعض لحظة تعسفية في الزمان أثناء نشأة العاصفة، وبالتالي فإن هذه البيانات تكون "ابتدائية" فقط من حيث إنها تستخدم لابتداء الحوسبة. وبالطبع فإن هذه المحاكاة الكمبيوترية الوحيدة لا تخبرنا في حد ذاتها بأي شيء ذي قيمة. ولكن هيا الآن نجري تشغيلة كمبيوتر ثانية وثالثة ثم رابعة، بنفس برنامج الكمبيوتر ولكن مع اختلاف طفيف في البيانات الابتدائية. اختلاف على أي نحو؟ بتغيير بروفيل الحرارة بأجزاء قليلة من المليون من الدرجة لا غيرها هنا وهناك (وهذه تغيرات تتجاوز قدرات القياس الفيزيائي)، أو بتغيير توزيع سرعة الريح عند رقم الكسر العشري الرابع أو الخامس (وقد يكون في ذلك ما يقلد سرب طيور يطير تبادلياً في اتجاه الريح ثم ضد اتجاهها). والآن، هيا نقارن نتائج هذه التشغيلات المختلفة للكمبيوتر. ماذا نجد؟ سنجد كما يمكن توقعه أنه في الساعات القليلة الأولى تختلف عواصف المحاكاة اختلافاً هيناً جداً. ولكن مع مرور الوقت يثبت في النهاية أن سلوكها يأخذ دائماً في التباعد، وفي النهاية فإنها كثيراً ما تتنامى بطرائق مختلفة تماماً. فقد تنحرف إحدى عواصف المحاكاة في اتجاه

الشمال بينما تستمر الأخرى فى اتجاه الغرب، أو قد تزداد إحداها شدة بينما الأخرى تموت، أو ربما تقف إحداها ساكنة بينما الأخرى تتراكض متجهة إلى أحد خطوط الشواطئ.

وتطرح هذه التجارب بمحاكاة الكمبيوتر أن مستقبل العاصفة يكون دائمًا حساسًا أشد الحساسية لأى تراوحات دقيقة لما يحدث من داخلها- والحقيقة أنه يبلغ من هذه الحساسية أنه حتى التغيرات الدقيقة جدًا بما لا يمكن قياسه، قد تؤثر تأثيرًا شديدًا فى سياق الحدث فى المستقبل.

والتغيرات من هذا النوع لا يلزم أن تأتى من الفراشات أو الطيور، ولو عدنا ثلاثة قرون وراء لقانون إسحاق نيوتن عن الفعل ورد الفعل (لا يمكن لمنظومة أن تؤثر فى الأخرى بدون أن تظهر الثانية تأثيرًا يرتد إلى الأولى)، سندرك أنه عندما يحدث مثلاً أن يضرب الإعصار حتى ولو جزيرة صغيرة، فإن الجزيرة نفسها ستؤثر فى مستقبل الإعصار، ونيوتن نفسه كان يرى الفعل ورد الفعل على أنهما دائمًا ينشآن فى ثنائيات من قوى متساوية وعكسية، وفى أى لحظة من الزمان ينشآن فيها. على أنه فى ضوء من ظاهرة الفراشة، فإن رد الفعل الصغير جدًا من الجزيرة عند إحدى اللحظات قد يؤدى إلى بدء ثنائية أكبر من الفعل ورد الفعل فى اللحظة التالية وتظل العملية فى التسلسل حتى تؤدى فى النهاية إلى انطلاق إعصار يختلف مساره فى المستقبل اختلافًا مهمًا. وفوق ذلك، فإن ظاهرة الفراشة تطرح أن فعل ذلك قد يتطلب ما هو أقل كثيرًا من جزيرة بأكملها، بل إن عددًا قليلاً من الفنادق المبنية حديثًا قد تكون له القدرة على التأثير فى مستقبل عاصفة معينة.

والعلماء اليوم يوافقون عمومًا على هذه المقدمة المنطقية الأساسية، وقد ظهر خلال العقد الأخير عدد من المجلات العلمية الجديدة كرست لدراسة "الديناميات غير الخطية". ومصطلح "غير الخطية" يشير إلى مواقف حيث يتحد عالَمان معًا لينتج تأثير يختلف تمامًا عن حاصل جمع التأثيرين المنفصلين. وكمثل قياس بسيط، هيا نأخذ طفلين (ولدين بالذات)، ونضعهما فى غرفتين منفصلتين مليئتين باللعب، ولنراقب سلوكهما، ثم هيا نحاول استخدام ملاحظاتنا للتنبؤ بما سيحدث عندما نضعهما معًا

فى غرفة واحدة من الغرفتين. هل يمكن لتنبؤ كهذا، حتى ولو من حيث المبدأ، أن يتم بأى درجة يعتمد عليها؟ هل هناك أى طريقة لتوقع ما إذا كان الطفلان سوف يتعاونان، أو يتعاركان، أو يتجاهل أحدهما الآخر، أو يحطمان اللعب إلى فتات، أو أن يتناوبا بين أى سلوك من هذا؟ إن هذه مهمة صعبة حتى فى أحسن الأحوال. وبصرف النظر عما سنتنبأ به، فإننا لن نود أن نضع الصغيرين معًا ثم نبتعد عنهما فى ثقة.

الظواهر الطبيعية اللا خطية - مثل العواصف وتجمعات الزلازل والأوبئة - تنحو إلى أن تكون غاية فى عدم الاستقرار. وقد يبدو فى لحظة زمن أنها تحسن من سلوكها، فتتبع على الأقل بعض نمط إحصائى قابل للتنبؤ؟ ثم تنتقل فجأة الى منوال سلوك مختلف اختلافًا شديداً، لأسباب ليست ظاهرة لأن العامل المسئول عن التغير صغير جداً بما لا يتيح قياسه أو حتى ملاحظته. ولو أضفنا خللاً صغيراً، فراشة مجازية، إلى عملية معقدة فسنحصل أحيانًا على نتيجة لا يمكن لأى شخص عاقل أن يتوقعها أبداً.

وفى الدوائر الاجتماعية والسياسية سنجد أن النظير المقابل لظاهرة الفراشة قد تم منذ زمن طويل إدراكه والكتابة عنه. ومن الحكايات المأثورة المشهورة حكاية بدأت فى الظاهر فى إنجلترا فى عهد ما قبل إليزابيث، وتجرى كالتالى:

لحاجتها إلى مسمار، ضاعت الحدوة،

لحاجته إلى حدوة، ضاع الحصان.

لحاجته إلى حصان، ضاع الفارس.

لحاجتها إلى فارس، ضاعت المعركة.

لحاجتها إلى معركة، ضاعت المملكة

الكل ضاع لحاجته إلى مسمار.

ومما يجدر ملاحظته أن مغزى هذه الحكاية منتشر فى كل زمان ومكان. ومن ناحية، فإن الكاتب ربما كان متشائمًا جداً بشأن قدراتنا البشرية على التخطيط لأى

شيء، حيث إنه حتى أصغر خلل يمكن أن يؤدى إلى أشد النتائج عنفًا. ومن الناحية الأخرى، فإن الكاتب ربما كان ينصحنا بأن نفتش بحرص بحثًا عن المسامير المفككة لحدوة الحصان.

هناك الكثير من الفراشات المجازية (المسامير المفككة للحدوات) فى العالم، وحاليًا ما من طريقة لنعرف أيًا منها ربما يجعل نظامًا غير خطى من حجم كبير فى حالة من الجيشان. على أن رسالة أمنا الطبيعة تظل منتشرة فى كل مكان وزمان مثل حكاية مسمار الحدوة. هل هى تخبرنا بأننا قد اصطدمنا ضد القيود التى تحدد ما يمكن للبشر أن يعرفوه ويتنبأوا به؟ أو لعل ما تخبرنا به حقًا أننا نحتاج لاستكشاف مسالك من المعرفة تختلف عن التنبؤ الرقمى الحتمى أو الإحصائى. ومرة أخرى فإن الرسالة الحقيقية قد تكون كالتالى: هيا نعثر على الفراشة المجازية المناسبة فى الوقت المناسب ونمسك بها ونرسلها فى مسار مختلف، وعندها ربما نتمكن أحيانًا من "توقّى" إحدى الكوارث الطبيعية.

القانون الثانى للديناميكا الحرارية

دعنا نعود قليلاً للوراء إلى أوائل القرن التاسع عشر. فى ذلك الوقت كانت قوانين نيوتن تطبق على المنظومات الميكانيكية بنجاح عظيم لما يزيد كثيراً عن القرن. وكان العديد من العلماء الأوروبيين، وأبرزهم بليز باسكال ودانييل برنوللى، قد ولّدوا علم ميكانيكا السوائل. وكانت الكيمياء تبزغ كعلم كمى، وذلك إلى حد كبير بسبب النظرية الذرية التى طرحها دالتون حوالى عام ١٨٠٣ ، وكان الكثير من المبادئ العلمية المكتشفة حديثًا يتم تطبيقه فى التو فى التكنولوجيا تطبيقًا ناجحاً، والثورة الصناعية فى كامل نشاطها المطرد.

كانت المحركات البخارية يومها، مع أنها عجائب تكنولوجية، إلا أنها لها شهية لكميات من الوقود سيجفل لها تفكير أى سائق سيارة حديث يشكو بشأن اقتصاد سيارته للوقود. وكان المخترعون يندفعون فى هياج لتحسين كفاءة محركاتهم فى استهلاك الوقود، ولكنهم كانوا يناضلون بدون إرشاد من نظرية علمية متماسكة تربط

الميكانيكا بحراريات وكيمياء الوقود. كان هناك سؤال بلا إجابة وهو: هل تفرض الطبيعة أى قيود أساسية على ما يمكن للمحرك إنجازه فى وجود قدر معين من الوقود؟ فإذا كان هناك وجود لقيد من هذا النوع، وإذا كان يمكن حوسبته، سيكون لدى المهندسين والمخترعين مقياس مرجعي يقيّمون إزاءه أداء أى محرك جديد قد يصممونه ويبنونه.

فى عام ١٨٢٤ أجاب عن هذا السؤال الفيزيائى الفرنسى الشاب سادى كارنو (الذى مات لسوء الحظ بعدها بثمانية أعوام لا غير فى سن ٣٦). أثبت كارنو أن هناك حداً عُينت حدوده جيداً فيما يتعلق بالنسبة المئوية من التيار الحرارى التى يمكن تحويلها إلى حركة ميكانيكية منتظمة. وفى النهاية أصبح مبدأ كارنو يسمى "القانون الثانى للديناميكا الحرارية" (١) ويعد صياغة هذا المبدأ سرعان ما أخذ يستثير أوجه تقدم عديدة فى هندسة الطاقة (٢) وهذه بدورها استثارت أبحاثًا إضافية لعلماء آخرين لتنمية فهم أعمق لطبيعة الحرارة. وانطلقت على وجه الخصوص كميات كبيرة من الطاقة الذهنية لاستكشاف كيف يمكن أن يؤدى سلوك الجزيئات المنفردة للسوائل إلى نتائج كارنو.

هيا نفكر فى التجربة التالية كمثل بسيط ولكنه كاشف: لدينا كأس من لتر من الماء البارد حرارته ١٠°م ، وكأس ثان من لتر من الماء الدافئ حرارته ٧٠°م. صب الكأسين معًا فى دلو، وبالطبع ستكون درجة الحرارة النهائية للخليط ٤٠° م. ولكن هيا الآن نعكس العملية. ونصب الماء ثانية من الدلو إلى الكأسين الأصليين. هل سنحصل ثانية على ماء حرارته ١٠°م وماء حرارته ٧٠°م. بالطبع لا، ولكن "لماذا" لا. على كل فنحن نعرف أن الماء الدافئ والماء البارد كانا كلاهما موجودين معًا فى الدلو، ذلك أنه أول كل شيء نحن الذين وضعناهما هناك!

وإذن، هيا نحاول أن نفعل شيئًا أكثر براعة من استعادة الماء الساخن والبارد من دلو واحد من الماء الفاتر. هيا نصب الماء ثانية فى الكأسين، ثم نسخن أحدهما فوق الموقد ونبرد الآخر فى الثلاجة. إن هذا سينجز المهمة بكل تأكيد، ولكن أليس هذا غشًا؟ إننا سنحصل ثانية على توزيع الحرارة الأصلى، ولكن هذا يرجع فقط إلى أننا قد

أدخلنا طاقة من مصادر خارجية وبطريقة انتقائية. ولا توجد طريقة لإدخال هذه الطاقة إلا بإحداث تغيير فى بعض منظومة فيزيائية خارجية لا علاقة لها أصلاً بدلو مياهنا. (أحرق غاز طبيعى فى الموقد، كما أُحرق الفحم فى محطة الطاقة لإمداد الثلاجة بالكهرباء.) وما يصل إليه الأمر هو التالى: لا توجد طريقة لاستعادة النظام لمنظومة مختلطة إلا بإحداث تغيير فى منظومة (أو منظومات) أخرى. وفى سياق هذا المثل، يمكننا أن نقر أن القانون الثانى للديناميكا الحرارية هو كالتالى:

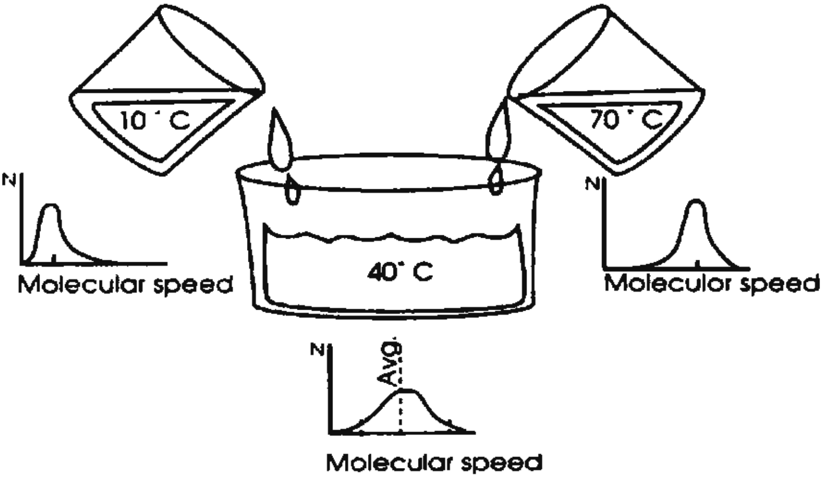
النزعة الطبيعية لأى منظومة منعزلة هى أن تتحرك من النظام إلى اختلال النظام ولا يمكن خلق النظام من اختلال النظام إلا على حساب زيادة اختلال النظام لبعض منظومة أخرى (خارجية).

و"النظام" فى هذه الصياغة يشير إلى تشكيل يختلف فيه ما لأحد أجزاء المنظومة من درجة حرارة وضغط ولون ورائحة وما إلى ذلك، عن الجزء الآخر من المنظومة. و"اختلال النظام" يشير إلى الحالة التى يختلط فيها أمر المنظومة بحيث لا يكون أى جزء مميزاً بوضوح عن أى جزء آخر.

وسنفهم مثال كأس الماء فهمًا أفضل إذا نظرنا فى أمر جزيئات الماء. كل قطرة واحدة من الماء تحوى كمًا مذهلاً من جزيئاته عددها ٦ × ١٠^٢١، ومن الواضح أنها كلها دقيقة جداً فى الصغر. وهذه الجزيئات فى حركة مستمرة، وهى تنتقل فى كل الاتجاهات بدرجة احتمال متساوية، وبمتوسط للسرعة يصل إلى عدة أمثال سرعة الصوت فى الهواء. وبسبب وجود عدد كثير جداً من هذه الجزيئات، فإن الجزيئات الفردية تتحرك فحسب لمسافات ميكروسكوبية لتصطدم بعدها أحدها بالآخر، وفى كل مرة تتصادم فيها فإنها تتبادل سرعاتها، تماماً مثل كرات البلياردو فوق طاولة لعب البولة. ومن الناحية التجريبية يستحيل تماماً متابعة ما يفعله جزىء واحد عبر فترة زمنية ما. على أنه من الناحية الإحصائية، سنجد أن "متوسط" السرعة الجزيئية يكون على علاقة مباشرة بدرجة حرارة السائل، وأن متوسط قوة الاصطدام يكون على علاقة بالضغط. ونجد بالذات أن السوائل الساخنة لها متوسط سرعات جزيئية أعلى من السوائل الباردة.

الرسم التوضيحي فى شكل (٩ ، ١) يبين تجربة كأس الماء من هذا المنظور الجزيئى. فالماء البارد يحوى أصلًا جزيئات سريعة الحركة (ساخنة) ومعها كذلك جزيئات بطيئة الحركة (باردة)، ولكن متوسط سرعة الجزيئات يعطى للماء درجة حرارته الماكروسكوبية التي نرصدها وهى ١٠° م. وفى نفس الوقت فإن الماء الساخن أيضًا يحوى معًا جزيئات سريعة الحركة وبطيئتها، ولكن متوسط السرعة هنا أعلى، وبالتالي تكون درجة الحرارة أعلى. صُب معًا كأسى الماء، وسرعان ما تختلط معًا جزيئاتهما (التى تتحرك فى اتجاهات عشوائية بسرعات كبيرة لأقصى حد). والحقيقة أن الماء الساخن والماء البارد كلاهما مازال موجودًا فى الخليط، ولكن جزيئاتهما قد أصبحت ممتزجة بحيث يتعذر على نحو ميئوس استعادة كل منهما. والخواص الوحيدة التى ترصد للمزيج هى تلك التى تتعلق بالمتوسطات الإحصائية "لكل" "الجزيئات" التى فى المزيج.

ويبقى هناك احتمال طفيف بأننا قد نقيس ذات مرة تراوحات صغيرة للحرارة فى الماء المختلط، وذلك بسبب أنه قد يحدث للحظة زمن وجيزة أن تتجمع معًا الجزيئات الأبطأ فى مكان واحد بينما تكون الجزيئات السريعة فى مكان آخر.



شكل (٩ ، ١) خلط جزيئات بطيئة الحركة بجزيئات سريعة الحركة. حرارة التوازن تعكس المتوسط النهائى لسرعة الجزيئات

بل إن هناك احتمالاً صغيراً كل الصغر (ولكن ليس بالصفر) بأننا لو صببنا لتر الماء من الدلو قد يحدث أن نصب فحسب الجزيئات الساخنة ونخلف في الدلو الجزيئات الباردة. على أن الحسابات تطرح أن شمسنا ستنتهي محترقة بما يسبق بزمن طويل وجود احتمال من ٥٠ إلى ٥٠ لأن نرى هذا يحدث. وإذا تركنا جانبًا هذه التراوحات الإحصائية، سنجد أن كل منظومة منعزلة سوف تتطور متجهة إلى أكثر حالاتها احتمالاً - وهي الحالة التي يكون فيها كل شيء عشوائياً. بقدر ما يمكنه أن يكون.

عندما عرف علماء القرن التاسع عشر أمر الجزيئات وطريقة تفاعلها أصبح من الممكن حساب الاحتمالات الرياضية لأن تنتظم هذه المكونات الدقيقة للمادة أنفسها في أنماط معينة. وسُكّت كلمة "إنتروبيا" لتوصيف الاحتمال بأن إحدى المنظومات ستتطور إلى حالة معينة كنتيجة لحركات جزيئاتها الداخلية عشوائيًا. والتشكيل الذي له إنتروبيا منخفضة هو ذلك الذي له احتمال منخفض بأن ينشأ بالصدفة، بينما المنظومة التي لها إنتروبيا عالية هي تلك التي يرجع إلى حد كبير أن تنشأ من خلال عمليات جزيئية عشوائية وحدها. وبلغة من الإنتروبيا يمكن أن يكون القانون الثاني للديناميكا الحرارية كالمقولة التالية:

الإنتروبيا في منظومة معزولة تتزايد دائمًا تجاه حد أقصى، وعند هذا الحد يصبح من غير الممكن أن يكون هناك مزيد من أي عمليات فيزيائية ميكروسكوبية يمكن ملاحظتها. والإقلال من إنتروبيا منظومة ما يتطلب زيادة إنتروبيا منظومة أخرى بكمية مساوية أو أكبر.

نعم، إن هذا يشبه كثيراً أن نقول إن المنظومات تتحرك من أحوال من النظام إلى أحوال من اختلال النظام. والفارق الأساسي هو أن الإنتروبيا تعكس السبب في "لماذا". إنه في الجزيئات.

الكون كله منظومة مغلقة. (فهو بالتعريف كل ما يكون). وبالتالي، إذا كان القانون الثاني للديناميكا الحرارية صادقًا فإن الكون سوف يتطور يومًا إلى نقطة حيث تكون كل المادة موزعة على نحو موحد، وتكون كل درجات الحرارة متماثلة ولا يحدث بعد أي انتقالات للطاقة، لأن الإنتروبيا في كل مكان قد بلغت أكبر ما يمكنها. وعند هذه

النقطة، سيكون من المستحيل تمامًا أن يوجد أى شكل للحياة، لأن أشكال الحياة جيوب مؤقتة من "الإنتروبيا المنخفضة"، يحافظ على استمراريتها زيادات الإنتروبيا التى تحدث فى مكان آخر. وعندما لا يعود هناك شموس تنهى نفسها بالاحتراق، وعندما تعيد مادة الكون توزيع نفسها إلى سحابة وحيدة هائلة رقيقة وموحدة نسبيًا فى درجة الحرارة والضغط، سيكون الكون عندها مكانًا مملاً حقًا. ويعتقد بعض العلماء أنه عند هذه النقطة سوف ينتهى الزمان نفسه (٢) .

وبصرف النظر عن هذه الدلالة المتشائمة، فإن الشىء المدهش فى القانون الثانى للديناميكا الحرارية أنه فى شكله الرياضى قد أتاح للعلماء أن يتنبأوا بنتائج مقاسة لمدى واسع من مختلف عمليات الديناميكا الحرارية، مع قدر كبير من الثقة فى أن هذه التنبؤات تعكس بدقة ما تفعله الجزيئات نفسها. وكان فى هذا اختصار هائل للطريق؛ فأجهزتنا تقيس فقط متوسط سلوك الجزيئات، وإذن فلماذا لا نجرى حساباتنا بالمتوسطات لا غير؟ والحقيقة أن طريقة التناول هذه نجحت أكفأ نجاح فى معمل الكيمياء، وفى تصميم المحركات ونظم التسخين، وفى التحكم فى صنوف واسعة من العمليات الصناعية. وقد فشلت بصورة أولية فى أمور كنا نعرف من قبل أنها ستفشل فيها: فى المواقف حيث عدد الجزيئات يكون صغيرًا جدًا بما لا يتيح للتناول الإحصائى أن يكون له معنى. ولسوء الحظ أن طريقة هذا التناول قد فشلت أيضًا فى أن توصف بدقة الظواهر الطبيعية ذات المقياس الكبير مثل الأعاصير أو الزلازل أو الأوبئة. وظل يُفترض لسنوات كثيرة أننا ببساطة ليس لدينا ما يكفى من تكنولوجيا جمع البيانات ومن القوة الحسابية حتى نصوغ بدقة نماذج للأحداث الكبيرة المعقدة. على أنه قد يكون لدينا هنا خلل أكثر خطورة: فقد يثبت فى النهاية أن الفراشات ليست هى التى تدفع ظاهرة الفراشة، وإنما يفعل ذلك التراوحات الإحصائية فى التوزيعات الجزيئية.

خلال العقود القليلة الماضية، أخذ علماء الكمبيوتر يطبقون القانون الثانى للديناميكا الحرارية على منظومات المعلومات. والمنظومة المنخفضة الإنتروبيا (أى تلك التى يكون تشكيلها قليل الاحتمال) تتطلب معلومات قليلة نسبيًا لتوصيفها. ومن

الناحية الأخرى، فإن المنظومات ذات الانتروبيا المرتفعة تتطلب قدراً كبيراً من المعلومات لتوصيفها توصيفًا مضبوطًا. وعندما تتطور منظومة من النظام تجاه خلل النظام، تتزايد كمية المعلومات اللازمة لتوصيفها.

سيوضح لنا ذلك مثل مبسط، هيا نفترض أن لدينا ٢٠ جزيئًا في أنبوبة طويلة ضيقة. وسيكون هناك في أول الأمر ١٠ جزيئات من المادة (أ) إلى اليسار و ١٠ جزيئات من المادة (ج) إلى اليمين، يفصلهما حاجز. ثم نزيل الحاجز ونترك القانون الثاني للديناميكا الحرارية يسيطر على الأمور. ما المعلومات اللازمة لوصف تشكيل المنظومة التي تتطور؟

التشكيل الأصلي: ج ج ج ج ج ج ج ج ج ج أ أ أ أ أ أ أ أ أ أ

التوصيف: حروف "أ" إلى اليسار وحروف "ج" إلى اليمين.

التشكيل فيما بعد: ج ج ج ج ج ج أ ج أ ج أ ج أ ج أ أ أ أ أ أ

التوصيف: ٦حروف "أ" إلى اليسار و٦ حروف،"ج" إلى اليمين، وفي الوسط ٨ تبادليات تبدأ "ج" من اليسار.

التشكيل بعدها ثانية: ج ج أ ج أ ج ج أج أ أج أج ج أ أ أ ج أ

التوصيف: لا يوجد توصيف ممكن سوى أن نكرر التسلسل بالضبط.

في الحالة الثالثة التوصيف بالتقريب قد يكون أن "حروف أ وحروف ج موزعة عشوائيًا"، ولكن هذا لن يكون تمامًا حقيقة، لأن هناك بالفعل حروف "أ" أكثر إلى اليسار من المركز وحروف "ج" أكثر إلى اليمين. المنظومات مختلة النظام تتطلب قدراً كبيراً من المعلومات لتوصيفها وصفًا مضبوطًا، والتوصيفات الإحصائية لا يمكنها فيما يحتمل أن تخبرنا بالقصة الكاملة. وفوق ذلك على الرغم من أنه من السهل نسبيًا أن نرى كيف يمكن خلق النمط الثاني بمعالجة النمط الأول، فإن من الصعب أبلغ صعوبة أن نضع فروضًا عن الطريقة التي تطور بها النمط الثالث من الثاني. والحقيقة أن هناك آلاف الطرائق يمكن بها فعل ذلك، وهناك بالمثل ملايين الطرائق التي يمكن بها

أن نصل إلى النمط الثالث مع تجاوز الثاني. ودلالة ذلك ما يلي: لو أننا جمعنا حتى كميات كبيرة من المعلومات عن منظومة معقدة عند نقطة واحدة من الزمان، فإننا لن نتمكن من العودة وراء لنحدد بدون لبس الأحوال الأقدم لهذه المنظومة. وإذا كان عندنا دلو من ماء فاتر حرارته ٤٠° م، فإنه حتى أكثر المعلومات تفاصيل عن سرعات الجزيئات المنفردة لن تخبرنا عن طريقة وصول الماء إلى هذه الحرارة. وإذا كان لدينا إعصار فإن أى قدر من القياسات بعد نشأته لن يقودنا إلى أى حقائق مطلقة فيما يتعلق بنذائره. إن رياضيات ميكانيكا نيوتن تنعكس بالزمان، ولكن الإحصاءات والاحتمالات في القانون الثاني للديناميكا الحرارية لا تنعكس بالزمن.

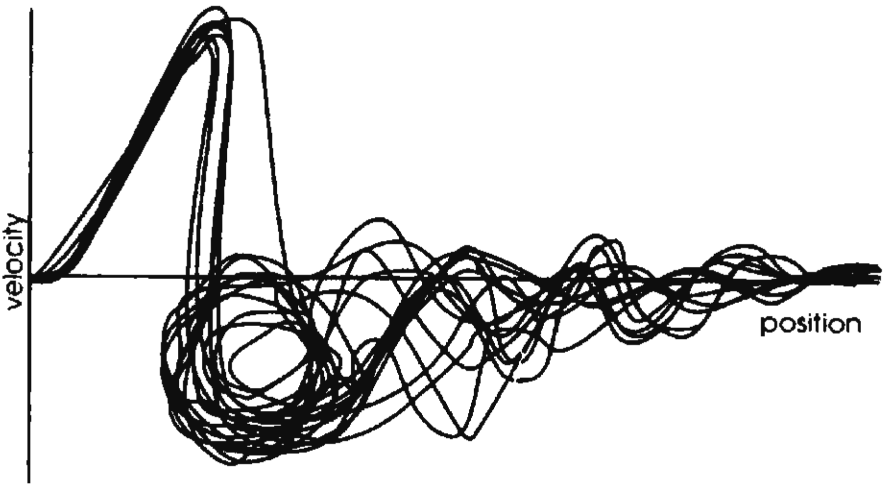
وبالتالى فإن من الممكن تماماً أن تكون التراوحات الإحصائية المخبوءة في القانون الثاني للديناميكا الحرارية هي في الحقيقة الفراشات في ظاهرة الفراشة. ولو كان الجو منظومة معزولة، لحسُن فيما يُحتمل من سلوكه على أحسن وجه. إلا أن الجو ليس معزولا عن الشمس ولا الأرض، وهناك جيوب صغيرة من الإنتروبيا المنخفضة تتولد باستمرار بواسطة جرعات من الطاقة الشمسية. وهناك عدد لا يحصى من الطرائق التى تزيد بها تجمعات جزيئات الجو مالها من إنتروبيا جماعية. وإذا كانت زيادة إنتروبيا الجزيئات تتبع أحد المسارات بدلاً من الآخر، فقد يكون الأمر وكأن إحدى الفراشات قد طارت إلى يسار شجرة بدلاً من يمينها. على أن التحدى الموجود عند ملاحظة الطبيعة على هذا المستوى من التفاصيل يتجاوز لأبعد وأبعد قدرات أى منظومة لجمع البيانات يمكن لنا تصورها حالياً، وهو فيما يحتمل تحد يتجاوز تماماً الحدود النظرية لما يحتمل أن يعرفه ولو حتى البشر أو أن تحسبه ولو حتى الكمبيوترات. وفيما يظهر، فإن هناك حاجة لأن توجد طريقة جديدة للنظر إلى المنظومات المعقدة مثل الجو، أو قشرة الأرض، أو حتى تفاعلات الميكروبات مع السكان من البشر.

الشواش

هيا نرمى كرة فى جدول يعلو شلالاً، ولنحاول التنبؤ بسرعة الكرة وهى تمر بنقاط مختلفة أسفل التيار. ويمكننا جميعاً تصور هذا الحدث الفيزيائي، والكثيرون منا قد

فعلوا هذا الشيء نفسه من وقت لآخر: نقذف جسماً في جدول ضيق مضطرب ثم نرقب في فضول ما يحدث. على أننا لو استخدمنا طرائق التناول الرياضية التقليدية سيثبت في النهاية أن مشكلة التنبؤ بالحركة هنا لا تقبل الحل تماماً. والاضطراب أسفل أحد الشلالات (أو في المنحدرات) يتميز بأن السائل تكون له سرعة تختلف اختلافًا واسعًا من نقطة للأخرى. وليس الأمر فقط أن السائل جامح، ولكنه يتفاعل مع حركة الكرة التي ربما تتناوب اللف (حول محاور مختلفة)، مهتزة لأعلى وأسفل، أو تتحرك جانبًا، أو تعكس اتجاهها من لحظة لأخرى لأعلى التيار. وحتى تزيد الأمور تعقداً فإن الدفع المائع وشد السائل للكرة يعتمدان على قدر الزبد في الماء، ويعتمدان على وجه الخصوص على الطريقة التي تتوزع بها من لحظة للأخرى فقاعات الهواء الفردية ذات الأحجام المختلفة على سطح الكرة المغمور. ولعلنا نجادل بأنه ربما يحدث أن رياضيًا تطبيقيًا يكون صبوراً بما لا يصدق وقد ينجح، على الأقل من حيث المبدأ، في أن يجد في العمل لسنوات قليلة ليبرمج كمبيوتر ليتنبأ بسلوك كرة التنس في مثالنا هذا البسيط. ولكن حتى هذا الفرض سيكون خطأ؛ فالحقيقة أن المشكلة جبليًا لا تقبل الحل باللغة المفهومة فيزيائيًا.

هناك أسباب لذلك من الرياضة التحليلية، ولكني سأتجاوزها الآن. وحتى نعرف أن المشكلة لا تقبل الحل حقيقة، يمكننا أن نسأل أمنا الطبيعة مباشرة: بمعنى أننا يمكننا أن نجري بعض التجارب، ونوثق ما يحدث، ثم ندرس ما إذا كانت هناك أي طريقة كان يمكن لنا أن نتوقع بها النتيجة مقدمًا باستخدام الجبر التقليدي وحساب التفاضل والتكامل و/أو الحوسبة الإلكترونية. هيا نتخيل أننا رمينا بعض كرات التنس في نهر أعلى الشلالات، ثم استخدمنا أجهزة استشعار فوق صوتية لنتابع سرعتها المتغيرة. ولنفترض للتبسيط، أن الكرات لن تغرق على نحو دائم، ولن تشتبك إحداها فوق الضفة. يبيِّن الرسم البياني في شكل (٩ ، ٢) كيف يمكن أن تختلف قياسات السرعة في الوضع أسفل التيار بالنسبة لسلسلة من الكرات المتماثلة. تبدأ الكرات



شكل (٩ ، ٢) سرعات كرات التنس عند نقط أسفل التيار من صدر شلال.

لا توجد أى كرتين ينتج عنهما نفس الحركة

كلها بنفس السرعة أساساً وهى أعلى الشلال، ولكنها تكتسب سرعات مختلفة هوناً عندما تمر عبر الشلال، وهى ترسو فى أماكن مختلفة نوعًا، وبعدها فإن بعضها يطفو فى التو فى حرية بينما يبقى بعضها الأخر حبيساً لزمن طويل فى الاضطراب ، ما تفعله كرة بعينها أمر لا يمكن التنبؤ به، لأن هناك الكثير جداً من التغيرات البيئية التى تؤثر عميقًا فى حركتها فى المستقبل، ولكنها تغييرات أصغر جداً من أن ترصد. إن ما نحصل عليه من الرسم البياني للتجربة، هو "الشواش"، وذلك بصرف النظر عن مدى ضبط قياساتنا.

والحقيقة أن الشواش تكمن فيه المغامرة الكبرى التى تجذب المتحمسين إلى ركوب قوارب الكانو فى المياه المزبدة البيضاء أو ركوب الطوف فيها: سيكون من المستحيل التنبؤ بما سيحدث من لحظة للتالية عندما نركب فوق ماء أبيض بالزبد. فالتيار وحركتنا نحن أنفسنا يكون كلاهما شواش، وتكون التفاعلات معقدة للغاية. على أن ظاهرة الفراشة تأتى هنا لإنقاذ ركاب الكانو الذين يبدون اهتماماً، ذلك أن أى إجراء

لتصحيح طفيف عند لحظة حرجة يمكن أن يكون فيه الفارق بين ركوب مثير، أو ركوب ممل، أو ركوب كارثي.

ولكن هل من الحقيقي أن رسمنا البياني فى شكل (٩ ، ٢) لا ينتج عنه شيء له قيمته؟ لا ريب أن فيه على الأقل معلماً غريباً واحداً: هناك توليفتان من الإحداثيات (س، ص) تمر كل الكرات على مقربة منهما إن لم يكن فيهما. وإحدى هاتين النقطتين هى عند الاضطراب أسفل الشلال، حيث تنحصر بعض الكرات لفترة ما، وهى تقريباً تكرر حركة عكوسية لأعلى وأسفل التيار. والنقطة الثانية هى على مسافة أبعد لأسفل التيار، حيث يهدأ الاضطراب وتأخذ كل الكرات فى الانتقال ثانية بسرعة متماثلة تقريباً. وهاتان النقطتان مثلان لما أصبح يعرف بأنه "الجواذب الغريبة" وهى من وجهة النظر الفيزيائية يكون لها عادة تفسير له معناه تماماً. إن المنظومات الشواشية لا تهيم أبداً فى الكون بلا هدف، فهى دائماً تنفق معظم وقتها محومة حول واحد من عدد محدد من الأشكال الديناميكية.

منحدرات الأنهار أحد الأمثلة للمنظومة الشواشية. وكذلك أيضاً السحب، سواء وهى تنحدر ببطء أو وهى تلف نفسها سريعاً فى زخم إعصار قمعى. ومن الشواشيات أيضاً خطوط الشاطئ المتغيرة، وخفق علم فى النسيم، وحرائق الغابات، والهيارات، وانتشار الوباء، وتحركات ألواح قشرة الأرض. والمقياس الزمنى لا يبدو مهماً فى توصيف منظومة شواشية، ولا المقياس الهندسى. فالشواش قد يكون بطيئاً أو سريعاً، ومقاييس أبعاده قد تكون ميكروسكوبية أو فلكية.

وفى مفارقة، فإنه يبدو بالفعل أن الشواش يظهر نوعاً من النظام وليس هذا نظاماً من الحتمية النيوتونية، ولا حتى نظاماً من الحتمية الإحصائية التى فى القانون الثانى للديناميكا الحرارية. وبدلاً من ذلك، فهو نظام من الجواذب الغريبة ومن خاصية (ربما تكون حتى على مستوى أكثر تأسساً) وهى "التشابه الذاتى عبر تغيرات المقياس".

دعنا نذهب إلى بعض منحدرات نهر لنضعها داخل إطار تحديد المنظر فى إحدى الكاميرات، بحيث لا يكون فى المنظر أى أشكال بشرية أو أى أشياء اصطناعية يمكن إدراكها. هيا الآن نقرب ونبعد العدسة على الأجزاء المختلفة من المنحدرات لنلتقط

مجموعة من الصور. عندما ننظر إلى الصور بعد انتهاء طبعها، سنجد أنه ليس هناك طريقة نحكم بها على مدى كبر أو صغر المنحدرات في كل صورة، أو على مدى قرب أو بعد مكان وقوف المصور منها. فالمنحدرات تتشابه ذاتيًا عبر تغيرات المقياس: والكبير منها يبدو إلى حد كبير مشابهًا للصغير منها. وعلى الرغم من أني كنت أظن أنني شخصيًا قد تقبلت هذه الفكرة الأساسية منذ عقد مضى، إلا أنها لم ترسخ حقًا إلا مؤخراً عندما وقفت قرب الجسر الجديد لنهر جورج في فيرجينيا الغربية، لأشهد سلسلة من المنحدرات في النهر الضيق من خلال نظارة معظمة ثنائية. تبدو هذه المنحدرات من موقعي المشرف وكأنها إلى حد معقول غير خطرة، مياه بيضاء بالزبد ولن تهدد تهديداً خطيراً قارب الكانو المفتوح. ثم وصل إلى المشهد طوف لستة ركاب أتى من حول منعطف، واستغرق ما بدا أنه زمن طويل بما لا يصدق حتى يدخل إلى المنحدرات، ولذهولي فقد اختفى تمامًا عن الرؤية عدة مرات وهو يركب الأمواج. ولم أتمكن من الحكم بدقة على الحجم المثير لهذه المنحدرات إلا بمرجعية من راكبي هذه الأطواف. فالتشابه الذاتي عبر تغيرات المقياس قد خدعني بالكامل.

يصدق الشيء نفسهعلى الأعاصير القمعية، والهُيارات، والزلازل وصنوف واسعة من أحداث أخرى طبيعية ولكنها شواشية: صغيرها يشبه كثيراً كبيرها. هيا ننظر إلى صورة جوية لخط ساحل أو لسحابة كما نراها من طائرة. وبدون بعض معلم مرجعي آخر في المنظر يمكن إدراكه، لن تكون هناك أي طريقة لتقدير المقياس. وخط الساحل العام سيبدو متماثلًا سواء تم تصويره من ارتفاع متر واحد أو آلاف الأمتار. وتصوير سحابة صغيرة عن قرب بالتفصيل لا يتميز هندسياً عن سحابة كبيرة على مسافة أبعد. وهذا يطرح عيبًا أساسيًا في طريقة التناول النيوتونية الحتمية بالنسبة للتنبؤ الحوسبي: وعلى كل، إذا كانت منظومة شواشية كبيرة هي فحسب مجرد نسخة مكبرة لمنظومة أصغر، لماذا ينبغي أن تكون الواحدة منهما أو الأخرى أصعب في وصفها رياضيًا؟

على أن التشابه الذاتي عبر المقاييس ينشأ أيضًا في بعض المنظومات غير الشواشية عند أمنا الطبيعة. إن المتعة بالفن الياباني لتنمية الأشجار القزمة فيها حيلة من توهم كاذب للمقياس: فالأشجار تبدو وكأنها ذات حجم كامل، إلا أننا يمكننا أن نرى أنها حقًا جد صغيرة وجد حية. ونحن لسنا حقًا مبلبلين بالتوهم، ولكننا فحسب

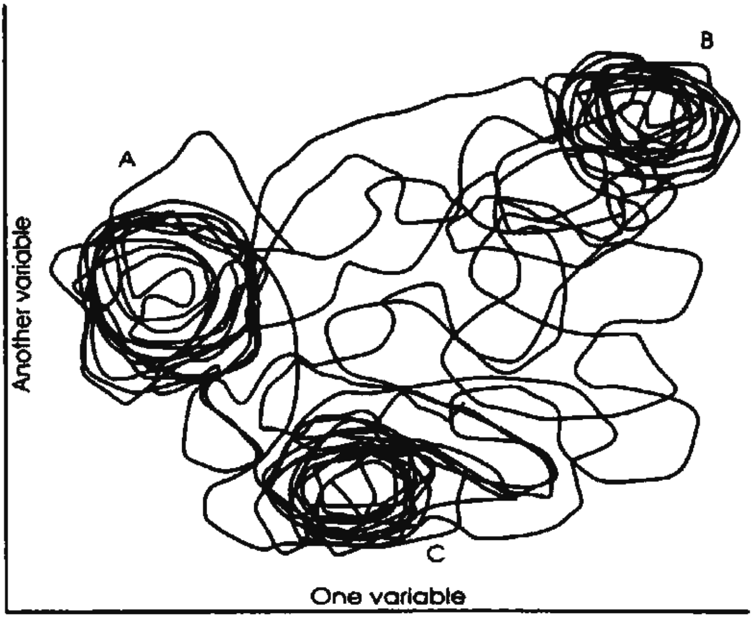
يُسلب منا اللب. انظر إلى السرخس، إن كل وريقة هي صورة للورقة الكاملة، وكل وريقة قد صُنعت بدورها من وريقات دقيقة أصغر لها نفس الشكل. ولننظر إلى رقيقة الثلج، ولو كبرناها (بفرض أننا نستطيع الاحتفاظ بها بدون أن تذوب)، سنجد تكراراً متصلاً لسمترية من ستة تضاعفات نزولاً إلى المستويات الميكروسكوبية. ولننظر إلى صورة فوتوغرافية لقوقع البحر أو محارة الأذن، ولن نجد طريقة تدلنا على مدى حجم هذا المخلوق إلا إذا ضمن المصور شيئًا ما يوفر مقياساً مرجعيًا. وهذه الأمثلة ليست منظومات شواشية بالمعنى الذي تكون به المنحدرات النهرية أو الأعاصير القمعية، إلا أنها تتشابه معها في التشابه الذاتي عبر المقاييس.

ولكن السرخس والقواقع أشكال حياة بدائية نسبيًا، والتشابه الذاتي عبر المقاييس لا ينطبق طبيعيًا على الكائنات الحية الأكثر تعقداً (أي التي لها إنتروبيا أقل). وإذا نظرنا إلى بقرة أو صقر يمكننا أن نحكم حكمًا دقيقًا إلى حد كبير على مسافة بعدها عنا لأننا نعرف أن هذه الحيوانات تقع في مدى معين من الحجم المطلق. وعلى الرغم من أن التشابه الذاتي عبر المقاييس قد يكون شرطًا ضروريًا للشواش، إلا أنه لا يكاد يكون شرطًا كافيًا. فالشواش فيما يبدو لا ينشأ إلا في تلك المنظومات التي تظهر ذلك النوع من المشابهة الذاتية "و" أيضًا التي تكون ديناميتها حساسة أقصى الحساسية للظروف الابتدائية. ويبدو أن الجوانب الغريبة هي نتيجة لهذه الشروط المسبقة، وهي لا تصبح واضحة إلا بعد أن نلاحظ منظومة شواش وهي تؤدي أمورها الشواشية لبعض فترة من الزمن.

على أن ما يتيح لنا حقًا أن نتعرف على منظومة شواش هو التالي: "أن تصبح التنبؤات الإحصائية بلا معنى". فالإحصاءات عن متوسط موضع وسرعة قطرة ماء في سحابة رعدية لا معنى لها، لأن هذه المتوسطات نفسها تتغير في الزمن بما لا يمكن التنبؤ به، وتتغير تغيراً مختلفًا بالنسبة للقطرات المختلفة. والشواش ليس عملية عشوائية، لأن العشوائية تتضمن أن بعض النتائج تحدث باحتمال ثابت. فدحرجة قطعة نرد أمر عشوائي، لأن كل وجه من وجوهها الستة يأتي لأعلى بما يقارب سدس واحد من الوقت. وإذا دحرجنا قطعة النرد عدداً كبيراً من المرات وحسبنا متوسط النتائج، سنحصل على نتيجة تقارب نوعًا ٣,٥ وإذا فعلنا ذلك مرة ثانية، سنجد للمرة الثانية أن

المتوسط يكون قريباً من ٣،٥ على أن هذا لا يحدث مع الشواش. هيا نرمى كرة التنس فى جدولنا المضطرب السابق ثم نقيس الوقت الذى تستغرقه للانتقال بين نقطتين. ولنفعل ذلك لمرات كثيرة، ثم نحسب المتوسط، هيا نكرر العملية ونحسب ثانية متوسط الوقت. سنجد أن المتوسط الثانى ينحو لأن يختلف اختلافًا له معناه عن الأول. وإذا كررنا التجربة مرة بعد أخرى فإن هذا لن يفيد. فالمتوسطات لا يحدث قط أن تستقر. وربما كان قلة منها قريبة أحدها من الآخر، ثم قد يصبح ما بعدها متباعداً بشدة بلا سبب واضح.

ولكن لماذا لا نستطيع أن نحسب (أو نقيس) متوسطات ذات معنى للمتغيرات الدينامية لمنظومات الشواش؟ المتوسطات مفهوم بسيط بما يكفى، وقد استفدنا منها جيداً فى استخدامنا للقانون الثانى للديناميكا الحرارية. والحقيقة أنه إذا كان فى أحد المنظومات جاذب غريب واحد، فإن إحصائيات القانون الثانى ستنحو بالفعل لأن تعمل جيداً تماماً. ولكن إذا زدنا الجواذب الغريبة إلى اثنين أو ثلاثة أو عشرة أو عشرين تصبح المتوسطات بلا معنى على نحو متزايد. وحتى نرى السبب فى ذلك، هيا ننظر أمر منظومة الشواش التي رُسمت بيانيًا فى شكل (٩ ، ٣) إن هذه المنظومة الافتراضية لها ثلاثة جواذب غريبة، وهذا يساوى أن نقول أن سلوك المنظومة قد يحوم بالقرب من مجموعة من الإحداثيات الدينامية، ثم يتقلب فجأة إلى حالة من حالتين مختلفتين بشدة حيث يحوم قرب مجموعة أخرى من الإحداثيات. ولما كانت "التقلبات" حساسة أقصى الحساسية إلى الظروف الابتدائية، فإنها لا يمكن توقعها بواسطة القياس الفيزيائى. ومادامت المنظومة تحوم قرب جاذب غريب معين، سيمكننا توقع أن سلوكها مما يمكن توصيفه توصيفًا له معنى من خلال المتوسطات. ولسوء الحظ فإن المنظومة تنقلب لتجاور جاذباً غريباً آخر بدون إنذار، وعندما يحدث ذلك، فإن متوسط السلوك الذى سبق حسابه لا يعود متوسطًا موصفًا. وبالتالى، لماذا لا نحسب ثلاثة متوسطات لا غير، متوسط لكل جاذب غريب؟ لأننا ليس لدينا طريقة نعرف بها متى يكون أحد التقلبات على وشك أن يحدث أو إلى أى مدى يتكرر. وأحسن ما نفعله عادة عند التطبيق العملى (على الأقل حاليًا) هو أن نأخذ البيانات لفترة



شكل (٩ ، ٢) منظومة شواش افتراضية فيها ثلاثة جواذب غريبة

زمن معينة، ثم نحسب متوسطًا عامًا، ونحن نجهل تمامًا ما إذا كانت المنظومة ربما قد انقلبت إلى جاذب آخر. على أنه حتى لو نجحنا بالفعل فى حساب ثلاثة متوسطات منفصلة، فإن هذه المعلومات ستظل فائدتها موضع شك، من حيث إننا ليس لدينا أى طريقة للتنبؤ عن "من" يكون الجاذب الغريب الذى ربما تختار المنظومة أن تحوم حوله عند لحظة ما من المستقبل.

وهذا لا يعنى أن الناس لا يجرون حسابات إحصائية بالنسبة لمنظومات الشواش. فهم يفعلون ذلك كثيراً، ويكون لذلك أحيانًا نتائج مضللة تضليلاً خطيراً. وإحدى حالات ذلك هى اعتماد أعمال التأمين على إحصائيات اكتوارية لها رسميتها البالغة. ومن

السهل (مثلاً) أن نحسب متوسط عدد الأعاصير التي ضربت فلوريدا في كل عقد من العقود العشرة الأخيرة. ويمكننا أن نحسب عدد مطالبات التأمين المتعلقة بالأعاصير في العقود الأخيرة ونقدر علاقة ذلك بإجمالي الأفراد الذين يتم التأمين عليهم الآن. وعلى هذا الأساس، فإن شركة التأمين يمكنها أن تقيم مدى تعرضها للمخاطر بسبب مطالبات المستقبل المتعلقة بالأعاصير وتضع جانبًا صندوقًا احتياطيًا كافيًا ليفي بهذه المخاطر مع هامش أمان له قدره. سيكون هذا تحليلاً سليمًا لو أن جو الأرض كان يحترم قانون المتوسطات. والحقيقة أنه لا يفعل ذلك. وفي أعقاب إعصار أندرو في عام ١٩٩٢، أجبرت على الأقل ست شركات تأمين في فلوريدا على إعلان إفلاسها، وأصيبت شركات كثيرة أخرى بخسائر فادحة تجاوزت احتياطياتها المالية. فالعواصف الاستوائية هي وأنماط العواصف الاستوائية عبر الزمن، كلها شواشية. والحتمية الإحصائية هي لا غير مما لا ينطبق على هذه الأحداث.

ولسوء الحظ مازال العلم الحديث غير مهيأ لأن يقدم بدائل عملية غير التحاليل الإحصائية التقليدية. ونظرية الشواش والديناميات غير الخطية موجودة الآن في صدر الجبهة العلمية، والبحث العلمي حاليًا مازال فيما يبدو يولد أسئلة جديدة أكثر من الإجابات.

ولعل أقوى سؤال بلا إجابة هو التالي: هل هناك أي إستراتيجية يمكن لنا نحن البشر أن نتخذها لنكتشف في "بداهة" الجاذبات الغريبة لمنظومة شواش؟ لو أمكننا في يوم ما إنجاز ذلك فقد يتبع ذلك الكثير من الفوائد الاجتماعية المستقبلية: التحكم في الطقس، والتحكم في الزلازل، وربما حتى التحكم في الأوبئة. ذلك أنه عندما تكون منظومة الشواش على وشك التقلب من جيرة أحد الجاذبات الغريبة إلى الآخر، فإن هذا بالضبط الوقت الذي تكون فيه حساسة أقصى الحساسية للاضطرابات الدقيقة الصغر التي قد تسوقها إلى هذا الطريق أو الآخر. فلماذا نتزعج لعجزنا عن التنبؤ بزمان ومكان وصول إعصار إلى اليابسة إذا اكتسبنا القدرة على تشمم الاضطراب أو تحويل مساره قبل أن يتطور قط إلى إعصار؟

وإذا كان مفهوم التحكم فى الكارثة الآن يبدو بعيد المنال إلى حد اليأس، إلا أنه لا يوجد شيء فى نظرية الشواش يجعل ذلك مستحيلاً. وإحدى طرائق إيقاف أو حرف مسار إعصار قد تكون بإحداث انفجار تحت الماء يدحرج الماء البارد إلى سطح المحيط عند اللحظة الحرجة؛ وإحدى الطرائق المستقبلية لتوقى إصابات الزلزال قد تكون بإخلاء كل فرد أولاً، ثم قدح الزناد لتفجير سلسلة من زلازل صغرى تؤدى إلى ترييح الإجهاد التكتونى. ولكن يلزم للفهم أن يسبق التحكم. ونحن الآن فى التو ما زلنا لا نعرف كيف نكتشف الوقت الذى تكون فيه منظومة معقدة على وشك أن تتقلب من أحد الجواذب الغريبة للآخر. والوقت الذى يكون فيه هذا التقلب على وشك أن يحدث هو وحده الوقت الذى يكون لدينا عنده نحن البشر الفرصة لاستخدام كميات صغيرة من الطاقة لنغير تغييراً مهماً من مسار إحدى ظواهر الشواش بالمقياس الكبير.

التحولات إلى الشواش

فى التاريخ المسجل للبشرية لم يحدث قط أن سبب ارتفاع وانخفاض المد والجزر الطبيعيين أى كارثة طبيعية. وحتى فى خليج فوندى حيث تنحدر أمواج المد سريعًا وتغمر خطوط الشاطئ بعمق ١٢ متراً (٤٠ قدمًا، بما يناظر فى ارتفاعه موجة تسونامى لها قدرها)، لم يحدث قط أن اكتُسحت القرى، ونادراً ما بوغت أى إنسان وهو غير منتبه لها. فالمد والجزر يمكن التنبؤ بهما، وموجاتهما عندما تتدفق وتنحسر تكون مسيرة بآلية ساعات فلكية، فسلوكهما هو الدعوة النقيضة للشواش.

ومن الناحية الأخرى فإن الكوارث الطبيعة هى بطبيعتها غير قابلة للتنبؤ، فهى تقتل وتدمر لأنها تدهم الناس فجأة. ونحن نستمسك بالقليل من القش الذى تمدنا به أمنا الطبيعة: على سكان خط الشاطئ إخلاء المنطقة عند انخفاض البارومتر، على ربابنة السفن أن يبحروا فى المياه الأعمق عندما تصل الأخبار باقتراب موجة تسونامى، على سكان كاليفورنيا أن يتعلموا التعرف على موجة - أ (P) التى تسبق أشد موجات الزلازل تخريبياً بثوان عديدة. إلا أننا أيضاً نهتم بالتنبؤ الإحصائى، ونحن هنا أيضاً نستمسك بحفنة قش أخرى. فنحن ندفع أموالاً إضافية لنبنى منازلنا حسب

المعايير السائدة بالنسبة للزلازل أو الأعاصير أو أحمال الثلج، ونطعم أطفالنا ضد أكثر أمراض الطفولة انتشاراً. ونحن نؤدى هذه الأمور لأننا نعتقد أنها إحصائيًا تقلل من تعرضنا للخطر (والحقيقة أنها ربما تفعل ذلك).

عندما تضرب كارثة طبيعية ضربتها، يكون هناك دائمًا فجوة مصداقية بين التنبؤات العلمية، حتى ما كان منها إحصائياً، وبين واقع "ما بعد الحدث". والكوارث الطبيعية دائمًا شواشية، ومع أنها فى مدى حياة الإنسان قد تظهر أحيانًا على أنها محتومة إحصائيًا ، إلا أنه عبر الأزمنة الأطول نجد أنه حتى الإحصاءات تكون فى حال شديد من عدم الاتساق.

وعندما نتحدث عن "فيضان المائة عام" [٤] أو "رياح الخمسين عام"، فإنه بصرف النظر عن البيانات المكدسة التى توفر لدعم هذه المفاهيم، فليس هذا إلا تعليلاً للنفس بالوهم. فإحصائيات الكوارث فى القرن الحالى تختلف تمامًا عما يقابلها من إحصائيات القرون الماضية، ومن المحتم أن إحصائيات الكوارث فى المستقبل ستكون مختلفة عن تلك التى نحسبها حاليًا. ونحن مثلاً لا يمكننا واقعيًا التنبؤ حتى "بمتوسط" عدد الأعاصير التى يمكن توقعها سنويًا فى العقد التالى.

على أننا نعرف أن كل حدث فيزيقي له أساس فى السلوك الجماعي لعدد كبير من الجزيئات. وإذا كانت تحركات الجزيئات عشوائية، إلا أنها بالتأكيد ليست شواشية. كيف يحدث إذن أن أمنا الطبيعة تصاعد من ظواهر هى أساسًا حسنة السلوك على المستوى الجزيئى لتصبح فى حال من خلل النظام الإحصائى ماكروسكوبياً، والتى تسمى بالشواش؟ إن هذا سؤال عميق جداً، وتبقى إجابته العلمية منقوصة. [٥] على أننا لو أجرينا ما يكفى من مشاهدات حريصة، سنبدأ فى ملاحظة أن الشواش لا ينشأ فجأة فى التو مكتملاً بكل تعقده، وبدلاً من ذلك فإنه يتطور (أحيانًا ببطء، وأحيانًا بسرعة) من منظومات تكون أساسًا منتظمة عند البداية. ولدينا تجربة بسيطة تزودنا ببعض تبصر فى الأمر. هيا نفتح صنبور حوض فتحة طفيفة لا غير، بحيث يقطر الماء منه بالكاد. ضع مقلاة مقلوبة أسفل الصنبور، بحيث يمكنك سماع القطرات. سيكون تكرار صوت القطرات متسقًا إلى حد كبير: "قطرة...قطرة..قطرة...." هيا الآن

نزيد تدفق المياه، وفي أول الأمر تصبح القطرات أسرع، ولكنها ما زالت لها سرعة متسقة. إلا أننا عندما نزيد تدفق الماء بعض الشيء ينقلب تساقط القطرات إلى نمط جديد من تكرارين اثنين متميزين: "قطرة قطرة..قطرة قطرة..قطرة قطرة" وإذا زدنا تدفق الماء لأكثر سنحصل على نوع آخر من التكرار المزدوج: قطرة..قطرة قطرة ... قطرة ... قطرة... قطرة قطرة..قطرة..قطرة..قطرة قطرة..قطرة..." وعند هذا الحد سيكون نمط تساقط القطرات فيما يحتمل حساساً جداً لأى زيادة إضافية صغيرة جداً في تدفق الماء، وربما يمكننا أو لا يمكننا أن نميز أنماطاً أخرى أثناء تحلل تكرار التقاطر إلى شواش. على أن التجارب المحكومة تكشف لنا أن تكرار القطرات يمر من خلال سلسلة كاملة من التفرعات أو التشعبات قبل أن يضيع بالكامل السلوك المنتظم لقطرات الماء المنفصلة في شواش تيار ماء مضطرب.

على أنه حتى مع الصنبور العادي، يحتمل أننا سنجد من الممكن ضبط تدفق الماء عند حد حيث تساقط المياه ينقلب بين حالين، أحدهما يندمج فيه الماء إلى تيار، والآخر يتقطع فيه إلى قطرات منفصلة. وعند هذا الحد، فإن أهون لمسة ليد الصنبور ستدفع المنظومة تجاه واحد من الحالين السابقين أو الآخر – تساقط منتظم للقطرات أو تدفق مستمر.

ويبدو عادة أن بدء الشواش يكون فيه دائماً هذا النذير: سلسلة من تفرعات للتكرار أثناء ضخ مقادير متزايدة من الطاقة في المنظومة. وعند المستويات المنخفضة (تحت الحرجة) للطاقة، تكون معظم المنظومات منتظمة، وحسنة السلوك، وقابلة للتنبؤ. وعند المستويات الأعلى للطاقة (التي مازالت تحت الحرجة) تنقلب المنظومة في أنماط سلوك أكثر تعقداً، وإن كانت مازالت حسنة السلوك إلى حد كبير. على أنه مع زيادة الطاقة زيادة أكبر، فإن الأمر يتطلب طاقة إضافية أقل وأقل لقلب المنظومة إلى النمط التالي من التعقد. وفي النهاية يكون هناك قدر حرج من الطاقة يدفع المنظومة إلى الشواش.

وهذا الأمر واضح جداً في دراسات المختبرات ومحاكيات الكمبيوتر، ولكن هل يحدث هذا أيضاً في الطبيعة؟ من الواضح أن الأمر كذلك. فالبراكين والزلازل بل وحتى

الأوبئة كلها فيما يبدو لديها نقطة حرجة في تطورها حيث يمكن فحسب لأصغر التغيرات دقة في ميزان الطاقة أن يقلب المنظومة من نمط للسلوك إلى آخر يقابله. وإذا أمكننا فهم وتوقع هذه النقاط الحرجة في الظواهر المعقدة، لربما أمكننا يومًا أن نحوز نجاحًا أكبر كثيرًا في التنبؤ بالكوارث الطبيعية بل وحتى تخفيف آثارها.

المناخ الكوكبي

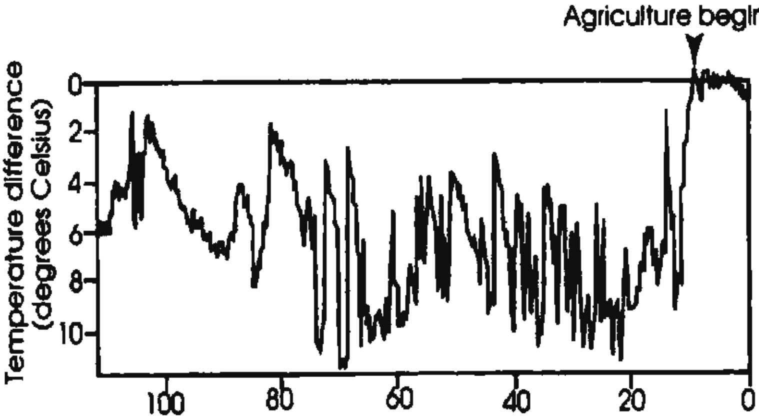
المناخ غير الطقس، والأولى أن المناخ هو مجموعة المعايير أو المتوسطات التي يتراوح الطقس من حولها. وكمثل فإن مناخ رود أيلاند يوصف في جزء منه بأن متوسط درجة الحرارة في يناير هو ٢٨,٢ ° ف، ومتوسط درجة الحرارة في يوليو ٧٢,٥° ف، وأن متوسط ١٢٤ يوم لما يسقط هناك كل سنة يصل إلى ٤٥,٣٢ بوصة مطر و٣٧١ بوصة ثلج، وهلم جرًا. ولا توجد أبدًا سنة بمفردها تتطابق تطابقًا مضبوطًا جدًا مع هذه المجموعة من معايير المنطقة، وكما رأينا فإن المتوسطات نفسها تنحرف جانبًا من عقد لعقد ومن قرن لقرن. ونحن نعني بالمناخ "الكوكبي" مجموعة معايير الكوكب ككل: متوسط درجات حرارة البحار، متوسط درجة حرارة الهواء، الدورات السنوية لتمدد وانكماش قلنسوات الجليد القطبية، التوزيع الجغرافي لسقوط المطر، وهلم جرًا.

ونظرية الشواش ترمي بحجر عثرة في هذا التعريف التقليدي للمناخ. ذلك أنه إذا كان سلوك الجو أساسًا سلوك شواش، فلن يكون هناك بالتالي متوسطات أو معايير لها معنى فيزيائيًا. ونحن نعرف مثلاً أن عصور الجليد تأتي وتذهب على ما يبدو أنه فترات غير منتظمة، ونحن نجد عظام الديناصورات في صحارى لا يحتمل الآن أن يبقى فيها حيًا أي من الزواحف الكبيرة. والرسم البياني في شكل (٩ ، ٤) يعرض ما نعرفه حاليًا عن التغيرات في متوسط درجات حرارة الكوكب أثناء آخر مائة ألف سنة، وعلى الرغم من أن الحرارة متغير واحد فحسب من متغيرات عديدة تحدد المناخ، إلا أن من الواضح من هذه البيانات أن مناخ الأرض لم يصبح مستقرًا بالذات إلا في

وقت حديث نسبيًا. [٦] والحقيقة أنه منذ نحو ١٢٠٠٠٠ سنة، في الوقت الذي كان فيه متوسط درجة حرارة الأرض قريبًا جداً مما هو عليه الآن، كان هناك قرن واحد عنيف ارتفعت فيه مستويات البحار في العالم كله بمقدار ٦ أمتار، ثم غاضت بما يزيد عن ١٥ متراً. [٧] ولو وقع حدث مماثل الآن، لكان معنى ذلك أن يعاني مئات ملايين من الناس معاناة هائلة. وفوق ذلك، فإن المناخ فيما يبدو يظهر تشابهًا ذاتيًا عبر المقياس، بمعنى أننا لو نظرنا إلى بيانات درجة الحرارة وسقوط المطر في سلسلة من أشهر يناير، فإن هذه البيانات وحدها لن تعطي أي إشارات عما إذا كنا ننظر إلى أحوال مدينة معينة، أو ولاية بأكملها أو قطر بأكمله. ولكن إذا كان المناخ حقًا شواشيًا، فينبغي أن يكون له جوانب غريبة. هل هناك أدلة على أنه كذلك؟

تطرح محاكيات الكمبيوتر أن مناخ كوكبنا قد يكون له حقًا وعلى الأقل ثلاثة جواذب غريبة أساسية (وربما يوجد بالإضافة لها عدد من الجواذب الصغرى). وأحد الجواذب الغريبة يطابق الظروف النموذجية التي نشأنا على توقعها في تاريخنا البشري القصير: الاعتدال في درجات الحرارة والاعتدال في غلاف السحب وسقوط المطر. والجاذبان الغريبان الآخران يختلفان اختلافًا عنيفًا عن ذلك، وأحدهما هو جاذب "الأرض البيضاء" حيث يغطي الكثير من سطح الكوكب بالثلج، وتكون السحب قليلة، وتظل درجات الحرارة العامة منخفضة تمامًا لأن الثلج يعكس ضوء الشمس ثانية إلى الفضاء بدلاً من أن يمتصه. والجاذب الغريب الثالث الممكن هو "جاذب الدفيئة" (*)، والذي يتميز بغلاف كثيف من السحب العالية الارتفاع وبدرجات حرارة عالية بما يكفي لتبخير المحيطات. (ويبدو أن هذا ما حدث فوق كوكب الزهرة، حيث نجد أن درجة حرارة السطح تحوم حول ٥٠٠° م أو ٩٠٠° ف.) وإذا كان المناخ في شواش، ستكون له القدرة على التقلب بين أن يحوم بالقرب من واحد من هذه الجواذب الغريبة وبين أن يتواثب بالقرب من واحد من الآخرين.

(*) الدفيئة: بيت النباتات الزجاجي (الصوبة) حيث يزيد دفء الحرارة التي ينمو فيها النبات . (المترجم).



العصر (آلاف السنين)

شكل (٩ ، ٤) درجات الحرارة الكوكبية تتراوح بشدة حتى وقت حديث نسبيًا من تاريخ الأرض.
(معدلة عن و.س.بريكر، المناخ الشواشي، مجلة "سيانتيفيك أمريكان"، نوفمبر ١٩٩٥).

والحياة البشرية بالطبع لها فائدة مكتسبة من أن يظل كوكبنا قريبًا من جاذبه الغريب الحالي. والحقيقة أن احتمالات ذلك كبيرة، على الأقل في المدى القصير. أما على المدى الطويل فإن كل الاحتمالات موجودة، فمن الممكن تمامًا أن الظروف سوف تتآمر في يوم ما لقلب المناخ إلى نمط "الأرض البيضاء"، حيث ظروف المعيشة تكون ظروفًا متطرفة، أو الأسوأ من ذلك أن ينقلب المناخ إلى نمط "الأرض الدفيئة"، حيث ستكون الحياة البشرية مستحيلة. ما الذي يقدح الزناد لهذا التقلب؟ أحد الأسباب الممكنة لذلك هو مواد الكلوروفلوروكربون التي تستخدم في أجهزة التبريد وتنطلق منها إلى الجو (وإن كان يبدو أن هناك الآن جهد دولي للتحكم في إطلاق هذه المواد بالذات). ومن الأسباب الأخرى الممكنة التأثير الكبير من عامل متريولوجي أو انفجار بركاني كبير. على أنه يمكن أيضًا إحداث تقلب في مناخ الكوكب بواسطة شيء لم يحدث قط أن لاحظناه أو فكرنا فيه. فالمنظومات ذات الشواش يمكنها أن تظهر استجابات درامية لمنبهات دقيقة جدًا في الصغر، خاصة عندما تحوم هذه المنبهات في مكان ما من المنطقة المنخفضة بين جاذبين غريبين. ومن المؤكد أنه ليس من الحكمة بالنسبة لنا نحن البشر أن نغير من بيئة كوكبنا بطريقة تدفعها بعيدًا عن جاذبها

الغريب الحالى، ذلك أننا الآن ليس لدينا أبسط فكرة عن مدى البعد الذى يمكننا التوغل فيه قبل أن تصبح ديناميات مناخنا فى خطر من أن تنقلب انقلابًا كارثيًا إلى جاذب غريب (آخر).

وبالطبع، فإن من المفيد لنا أكبر فائدة أن يكون لدينا كتالوج من الجواذب الغريبة فى جونا، ذلك لأننا سنتمكن عندها من إعادة تعريف مناخنا بلغة من أقرب جانب كبير. أما حاليًا، فكل ما يمكننا هو أن نعتمد فقط على محاكيات الكمبيوتر، التى لا ترقى لأكثر من أن تكون شكلاً راقيًا من التخمين. وقد يكون نمط دفيئة الأرض جاذبًا غريبًا حقيقيًا، أو قد لا يكون أكثر من عامل مصطنع من افتراضات حساباتنا. والرياضيات والتشدق بالأرقام ليست هى الحقيقة. وأمنا الطبيعة نفسها هى وحدها التى لديها القدرة على تحديد ما يمكن أن يكون.

معضلة تعذر التكرار

قد أطلت الحديث نوعًا فى هذا الكتاب كله عن تاريخ التفكير العلمى، وذكرت القليل من التغييرات فى النموذج الأساسى مما كان لازمًا حتى يعاود العلم التحرك ثانية بعد توقفه. يرجع الفضل إلى فيثاغورس فى ربط الرياضيات مع مشاهدات الظواهر الطبيعية، أما جاليليو فيمكننا أن نرجع الفضل إليه فى مفهوم الاستقصاء الإمبريقى، كما أعطانا نيوتن حتمية آلية الساعة الكونية. وفى هذه القرون كانت القابلية للتكرار هى ما يميز العلم عن اللاعلم: فإذا تعذر تكرار نتائج أحد الباحثين بواسطة ملاحظة آخر فى زمن آخر (وربما مكان آخر)، ستكون نتيجة ذلك إحالة النتائج الأصلية بما يليق بها إلى صندوق القمامة.

ثم وجد العلماء فى أواخر القرن التاسع عشر أن الكثير من التجارب والمشاهدات عن المنظومات الذرية ترفض فحسب أن تنصاع إلى المحاولات المبذولة لتكرارها تكرارًا إمبريقيًا مضبوطًا (بمعنى تكرارها فى حدود ما فى القياس من عدم يقين). وأدى هذا

إلى أن هز العلم من أساسه، ولم ينبثق بالفعل نموذج أساسى جديد إلا بعد عقود كثيرة، وهو الحتمية الإحصائية. والآن، فإنه لا بأس من أن تنحرف الأحداث الفردية عن المشاهدات السابقة، بشرط أن نستطيع تكرار القياسات الإحصائية التى توصف فئة الأحداث المتشابهة. وسرعان ما تم احتضان نموذج الحتمية الإحصائية الأساسى بواسطة العلوم الأكثر تعقداً (مثل البيولوجيا والسيكولوجيا وعلم الاجتماع) ، وسار العلم قدماً مرة أخرى. وازدهرت فى ظل مناهج البحث الإحصائية تخصصات جديدة مثل الجيوفيزياء، وعلم الأرصاد الجوية، وعلم البراكين وعلم الوبائيات. وهكذا فإن تغير النموذج الأساسى تغيراً نشأ عن مشاكل فى فهم أصغر أشكال الطبيعة أصبح الآن يطبق روتينياً على المنظومات الكبيرة الحجم التى تجفل لتعقدها العقول.

ولو استخدمنا النموذج الأساسى للحتمية النيوتونية وحده، سيكون من المستحيل إنشاء علم للطقس ، أو البراكين، أو الأوبئة، أو الديموجرافيا (. فنحن ببساطة لا نستطيع تكرار هذه الظواهر فى حدود التقييد بضبط القياس. وإذا كان هناك بركانان فسوف يُظهران دائمًا ديناميات تختلف اختلافًا له قدره، وكذلك سينحو أى إعصارين أو أى وباءين أو أى تزايد لمجموعتين من السكان. فالمتغيرات المحتملة كثيرة جداً. والمعلومات المتاحة ضئيلة جداً. إلا أنه كان يبدو أنه مع استخدام الإحصائيات وعينة حجمها كبير بما يكفى، سيتمكن العلم رغم كل شىء من أن يمدنا بتبصرات لها فائدة حقيقية. ولا ريب فى أننا قد تعلمنا أن براكين الرفع تولد مخاطر مختلفة عن براكين الخسف، وتعلمنا ما تكون المناطق الجغرافية التى يحتمل أكبر الاحتمال أن تضربها الأعاصير، وتعلمنا ما تكونه الإستراتيجيات الأكثر فعالية فى احتواء الأوبئة. وقد تعلمنا هذه الأمور إحصائياً وليس تحليلياً. وعندما فعلنا ذلك، فإن بعضنا على الأقل قد تعلموا أن يعيشوا مع جهلنا بطريقة التنبؤ بالخواص المعينة للكوارث الطبيعية فى المستقبل، أى أوقاتها وأماكنها الخاصة بها وكذلك مدى تأثيرها.

ولكن مع تقدم القرن العشرين، تزايد اتضاح أن الكثير من المنظومات المعقدة هى فحسب مما لا يذعن للنموذج الأساسى للحتمية الإحصائية. وحاليًا، فإن طرائق البحث الإحصائى تولد عدداً أقل وأقل من التبصرات الجديدة حقًا فى الظواهر المعقدة، وأصبح العلم على شفا طريق آخر مسدود يشبه الطريق المسدود لتسعينيات القرن

التاسع عشر. ونحن نجد المرة بعد الأخرى أن توصيفاتنا الإحصائية لا تقبل النقل كما كنا نأمل أن تفعل، فالأنماط الجديدة من الزلازل لا تكرر الأنماط القديمة، والأمراض الجديدة لا تنتشر مثل الأمراض السابقة، ولا حتى من حيث المتوسط. ونحن نستجيب لذلك بأن نفتت علومنا إلى جيوب في تخصصية متزايدة، وإذ نفعل ذلك فإننا نتعلم أكثر وأكثر عما هو أقل وأقل. وفيما عدا منظرى الفيزياء الفلكية والبيولوجيين التطوريين، فإن مفهوم الكلية النيوتونى قد مات فى العلم الحديث إلى حد كبير.

لست أطرح أننا لا يحدث لنا أحيانًا أن نقوم باكتشافات تؤدى بدورها إلى دفع أوجه تقدم تكنولوجية رائعة. فنحن نفعل ذلك بكل تأكيد. ولكننا فعلنا ذلك أيضًا فى تسعينيات القرن التاسع عشر، وهى فترة كان الإبداع التكنولوجى فيها يتفجر من كل شق، بينما كان علماء الفيزياء يدخلون فى حالة من بلبلة تامة بشأن الطبيعة الأساسية للمادة. والتكنولوجيا دائمًا تتخلف لفترة وراء العلم، وأحيانًا يكون ذلك بسنوات قليلة، وأحيانًا يكون بعقود من السنين، وهناك أدوية مذهلة جديدة تداوم على الظهور فى سوقنا الحالى، وهى نتاج تفكير علمى يرجع وراء لعشرات السنين، ومعظم الإلكترونيات الحديثة تتأسس على علم لا يقل عمره عن عقدين أو ثلاثة. وإذا كان البحث العلمى ذو التخصصات العالية كثيراً ما يثمر فى الحقيقة أسرع الفوائد الاجتماعية، إلا أن الأمر على المدى الزمنى الأطول يتطلب المزيد من التبصرات العلمية الكلية لتدفع بالعملية كلها.

ولسوء الحظ، نحن الآن لا نؤدى إلا القليل مما هو ثمين من العلم الجديد الذى يمكن الاعتماد عليه لتصميم طرائق مبتكرة لتجنب الكوارث الطبيعية أو تخفيف تأثيرها. ومن الناحية التكنولوجية، فإننا نواصل استخدام نفس الطرائق التى اختُبرت عبر الزمن: بناء الحواجز البحرية، وفرض لوائح لإنشاء المبانى، وتطعيم مجموعات الأفراد الحساسة، وإطلاق أقمار صناعية جديدة للطقس، وما إلى ذلك، ونحن نركز على محاولة فعل هذه الأشياء بصورة أفضل بدلاً من إنشاء إستراتيجيات جديدة ومختلفة. وليس لدينا فى هذا إلا أقل خيار، حيث إنه ليس هناك بعد علم جديد جدة لها مغزاها حتى يهدينا. على أنه مع مرور الوقت يتزايد التحدى، وإذ تمر سنة بعد سنة يظهر المزيد من جيوب السكان ذات الكثافة العالية ممن يتزايد اعتمادهم على البنية التحتية

المجتمع، ويتزايد تعرضهم للخطر من الكوارث المحتملة. وعندما نعمل الأشياء القديمة نفسها لتأمين سكاننا، فلعلنا بذلك نخسر معركتنا. إن الدمار الذى أحدثه إعصار أندرو فى عام ١٩٩٢ أو زلزال نورثريدج فى عام ١٩٩٤ ما كانت خسائره لتصل إلا لجزء صغير من قيمة الثلاثين بليون دولار في كل منهما لو أن هذين الحدثين الطبيعيين كان قد ضربا ضربتهما قبلها بعشرين سنة عندما كانت المناطق المصابة فيها عدد سكان أقل.

وكعلماء، فإننا نساق الآن إلى استنتاج أننا ببساطة ليس لدينا طريقة مثمرة لدراسة الظواهر المعقدة التى يتعذر تكرارها. ونحن عند نفس الطريق المسدود الذى تعرض له علماء الطبيعة فى تسعينيات القرن التاسع عشر، والتى أدت بهم إلى نموذج أساسى من الحتمية الإحصائية وإلى مناهج من الإمبريقية الإحصائية. ويبدو الآن أنه قد حان الوقت لنوع جديد من العلم، ليس ليحل مكان العلم القديم فى المجالات التى ينجح فيها، وإنما للتفوق على العلم القديم. وستظل باقية تلك الجيوب من الحقيقة التى تنجح فيها حالياً المناهج الإحصائية البحثية، تماماً مثلما ظلت الحتمية النيوتونية باقية بعد الثورة العلمية فى أوائل القرن العشرين واستمرت تستخدم بنجاح لترشد مجساتنا الفضائية الحالية. ووجهة نظرنا إذن هى أن حتمية آلية الساعة النيوتونية هى حالة خاصة من الحتمية الإحصائية تنطبق على الأحداث التى تحوم فيها نسبة الاحتمالات حول ١٠٠٪ ، وأن الحتمية الإحصائية هى حالة خاصة من "العلم الجديد" حيث لا تكون الاحتمالات بنسبة ١٠٠٪ ولكنها على الأقل متسقة مع مرور الوقت.

و "العلم الجديد" فى الغالب العام، سيعالج الأحداث الطبيعية التى يكون فيها احتمال نتيجة معينة ليس ١٠٠٪ وليس متسقاً مع مرور الوقت.

والمبحث الرئيسى فى هذا "العلم الجديد" يجب أن يكون إذن أنه يوصف تلك الظواهر الطبيعية التى يتعذر تكرارها لسبب جوهرى من داخلها، على أن يوصفها بطريقة تنورنا تنويراً له معناه بشأن الأحداث التى لم تقع بعد. وهذه مهمة عسيرة ومن غير المحتمل أن يفى بها الأخصائى العلمى، ذلك أن العلم الجديد سيحتاج إلى أن يتجاوز ويدمج معًا معظم فروع علمنا الحالية (والتى تُصنف صناعياً) هى وتقسيماتها الفرعية. ونحن فى حاجة إلى التماس نظرية لها معناها بالنسبة لكل ما هو معقد.

هل هذه نظرية ممكنة؟ لست أدرى. ويبدى بعض العلماء شكوكًا خطيرة بهذا الشأن، بينما يناضل علماء آخرون نضالاً باسلاً للوصول إلى تقدم تجاه هذا الهدف نفسه.

وقد تكون المناهج الرياضية لهذا العلم الجديد شيئًا يختلف تمامًا على ما تعوده العلماء اليوم. فالجبر والمعادلات التفاضلية يبدو أنها لا تنجح مع المنظومات المعقدة (وإن كانت تخدم الحتمية النيوتينية على أحسن وجه)، والإحصائيات التقليدية تفشل عند تطبيقها على الظواهر ذات الشواش، وإذا كان سيحدث أى إنجاز، فمن الأرجح أن يتطلب ذلك طريقة ثورية جديدة للتفكير والتحليل وربما حتى للملاحظة. وقد طرحت نظرية الشواش والديناميات غير الخطية وعوداً عظيمة عندما ظهرت لأول مرة فى السبعينيات والثمانينيات، ولكن على الرغم من أن طرائق تناولهما نجحت نجاحًا عظيمًا فى الكمبيوتر والمعمل (بما نتج عنه نشر آلاف من المقالات فى المجلات العلمية)، إلا أنها حتى الآن قد فشلت فشلاً تعسًا فى أن تخبرنا بالكثير عن القيمة الحقيقية للعالم الفيزيقى الخارجى. وإذا كانت الدراسات تولد بالفعل تماثل قياس قوى بين محاكيات الكمبيوتر وصنوف واسعة من الظواهر الطبيعية المعقدة، إلا أننا مازلنا نصرخ طلبًا لإجابات عن مشاكلنا الأكثر عملية: ماذا يمكن أن يقوله لنا هذا التحليل عن موسم الأعاصير فى العام القادم، أو عن أفضل توزيع للمعدات لمحاربة حرائق الغابات فى متنزهاتنا القومية، أو أحسن طريقة لتنظيم شركات التأمين على المصابين؟ ومعظم الدراسات تظل صامتة إزاء مثل هذه الأسئلة العلمية، تاركة مهندسينا ومخططى سياستنا العامة فى عماء كامل بالنسبة لما قد تستطيع نظرية الشواش أن تخبرهم به.

وقد يثبت فى النهاية أننا قد وصلنا بالفعل إلى الحد الطبيعى لقدراتنا البشرية على التوقع ووضع الخطط للأحداث التى لا تقبل التكرار التى تتحول إلى كوارث طبيعية. وفى الحقيقة، لعل كل ما يمكن أن نفعله فى المستقبل هو مزيد مما فعلناه فى الماضى، مصحوبًا فحسب ببعض مزيد من الاجتهاد. ولكننا لا نعرف إن كان هذا هو الحال حقًا، ومن المؤكد أن الوقت مبكر جداً بما لا يسمح لنا بأن نستسلم. ومن اللازم أن تستمر الجهود. ونحن عند هذه النقطة ليست لدينا أى فكرة عن المكان الذى قد يحدث فيه الإنجاز القادم، ولا عن ذلك العمل الغامض من البحث الذى قد يوفر لنا صلة

الربط الضائعة، ولا عما تكونه الفرصة الصغيرة الضائعة التى تفشل فى منع تقلب بيئى كبير تجاه جاذب غريب غير متوقع.

وبالتالى، اسمحوا لى بأن أتقدم بهذا الطلب: فى المرة القادمة التى تسمعون فيها عضو مجلس نواب أو شيوخ يسخر من النقود التى تنفق على الأبحاث فى القارة القطبية الجنوبية، أو يعترض على انشغال البيئيين باحتراق الغابات الاستوائية، أو يشكو من مبادرات الأمم المتحدة لتنظيم النسل فى العالم الثالث، أو ينتقد مجس فضاء لكوكب آخر يعد "غير ذى أهمية"، إذا سمعتم أيًا من ذلك، عليكم أن تفكروا بحرص بالغ قبل أن تثبوا لتنضموا مع هذا الشخص فى عربة فرقته الموسيقية التى تعزف لحن سحق العلم. ولا توجد طريقة يمكن بها لأى فرد أن يحدد أى معرفة ستكون غير ذات أهمية على المدى الطويل أو أى اكتشاف مما قد يبدو غامضاً سوف يسهم فى تحول أساسى فى النموذج الأساسى بحيث يغير تغيراً له مغزاه من علاقة البشرية فى المستقبل مع البيئة الطبيعية.

إن الحضارة البشرية فوق كوكب الأرض ليست بأى مدى من التصور آمنة من الكوارث المحتملة التى ستكون بمقاييس لا يمكن تخيلها. إننا نعد رهائن فى خطة هائلة بدأنا بالكاد نتفهمها، ونحن البشر لأبعد تماماً من أن نكون عنصراً أساسيًا فى مسار الكون فى المستقبل. ونحن مدينون لأطفالنا بأن نتفاوض مع أمنا الطبيعية للوصول إلى علاقة احترام متبادل معها، والطريقة الوحيدة التى يمكن بها أن نفعل ذلك هى أن نسمع ونسمع ونسمع، ونحن نلقى الانتباه لها، ليس فقط عندما تصرخ معولة، وإنما أيضًا وهى تهمس همسًا خفيفًا جداً، بلغة مازلنا لا نفهمها فهمًا كاملاً.

الهوامش

(١) فيما يتعلق بالقانون الأول للديناميكا الحرارية، فهو تاريخيًا قد أتى فى اللاحق، وعُرف الحرارة بأنها شكل من الطاقة يجب تضمينه فى حساب توازن الطاقة فى أى ظاهرة فيزيائية. ويرجع الفضل إلى كارنو فى أنه استطاع أن يصوغ القانون الثانى بدون الفهم الكامل لطبيعة الحرارة والطاقة الحرارية.

(٢) كان لدى رودلف ديزل ثقة كبيرة فى القانون الثانى للديناميكا الحرارية حتى أن أول محركاته البدائية للديزل (١٨٩٢) كان ارتفاعه لطابقين، وتصميمه مبنى بالكامل على حساب القانون الثانى. وسرعان ما انفجر الجهاز وأرسل ديزل إلى المستشفى، حيث عدل التصميم أثناء تماثله للشفاء.

(٣) أحد الألغاز الكبيرة كان دائمًا فى السؤال عن علاقة الأنتروبيا بالزمان. وعلى المستوى الجزيئى، فإن الزمن يقبل أن يُعكس، بمعنى أننا لا نستطيع أن نعرف الفارق بين شريط فيديو لتفاعل جزيئى عندما يدار الشريط أمامًا أو وراء. إلا أنه على المستوى الماكروسكوبى، يكون اتجاه الزمان واضحًا: فإذا ذهب كوم من معجون الحلاقة "للداخل" من أنبوبته، سنعرف أن الشريط يدار معكوسًا، وسبب ذلك (باللغة العلمية) أن الأنتروبيا لا تقل تلقائيًا. وإذا كان المزيد من النقاش هنا سيكون استطراداً بعيداً عن موضوع هذا الكتاب، إلا أنى أوصى بشدة القارئ الذى يهتم بهذا الأمر أن يقرأ كتاب ستيفن هوكنج "تاريخ موجز للزمان" ((نيويورك: بانتام، ١٩٩٠).

(٤) "فيضان المائة عام" هو فيضان يزعم له احتمال من ٠,٠١ (١٪) لأن يحدث فى مكان معين فى سنة معينة؛ والإحصائيون أنفسهم يحرصون على ألا يقولوا إن هذا الفيضان يحدث على فترات منتظمة من ١٠٠ سنة. ونقطتى هنا أنه لا توجد أى طريقة لإثبات أن هذا الرقم له معنى، حتى لو أمكننا أن نجمع بيانات ١٠٠٠ سنة ونحسب متوسطها، ذلك أن متوسط فيضان المائة عام فى ألفية واحدة يختلف اختلافًا له معناه عن متوسط فيضان المائة عام فى الألفية السابقة واللاحقة.

(5) For a discussion of some of the current philosophical issues, see John Horgan. From complexity to perplexity, Scientific American, June 1995, 104-9. For an earlier but more comprehensive overview of the entire subject of complexity and chaos, I recommend James Gleick, "Chaos: Making a new science" (New York: Viking, 1987).

(6) W.S. Broecker, Chaotic climate, Scientific American, Nov. 1995, 62-8.

(7) C. Stock, High tidings, "Scientific American", Aug. 1995, 21-2.

الملاحق

الملحق (أ)

موجات التسونامى المهمة

التاريخ	الموقع	أقصى ارتفاع	الوفيات	ملاحظات
١٦٢٦ ق.م	بحرايجه	غ م	غ م	حدثت بعد الانفجار البركانى فى ثيرا
١٧٩ ق.م	اليونان	غ م	آلاف	غرق الجيش الفارسى وهو يهاجم بوتيديا
٢١،٣٦٥ يوليو	البحر المتوسط	غ م	غ م	تولدت عن زلزال ضرب كل خط ساحل المتوسط
١٣،٣٦٩ يوليو	اليابان	غ م	١٠٠٠	عقب زلزال محلى تحت البحر
٥٠٩ سبتمبر ١٤	تركيا	غ م	غ م	ارتفع البحر بعد زلزال فوق أسوار جالاتا والقسطنطينية
٥٦٢ أكتوبر ٢٨	جنوب شيلى	غ م	غ م	أصيب نحو ١٤٥٠ كم من خط الساحل.
٥٧٠ فبراير ٨	شيلى	غ م	غ م	أبلغ عن دمار عظيم
٦١١ ديسمبر ٢	اليابان	٢٥	٣٠٠٠	زلزال محلى
٦٤٠ يوليو ٣	اليابان	غ م	٧٠٠	عقب تفجر بركان كوماجاتيك
٦٩٢ يونيو ٧	بورت رويال	غ م	آلاف	حُملت السفن فوق المدينة، دمرت المدينة، نقلت العاصمة إلى كنجستون.

تابع الملحق (أ)

موجات التسونامى المهمة

التاريخ	الموقع	أقصى ارتفاع	الوفيات	ملاحظات
٧٠٣	اليابان	غ م	١٠٠٠٠٠	مصدر بعيد، يظهر أنه شرق الهادى.
٧٩٢	اليابان	١٠٠	١٥٠٠٠	انزلاق أرضى، تهاوى ٥٠٠م مليون متر مكعب من الصخر والتربة إلى عمق ١٠٥م فى البحر
١٧٤٦ أكتوبر ٢٨	بيرو	٢٤,٤	٤٨٠٠	زلزال محلى
١٧٥٥ نوفمبر ١	لشبونة، البرتغال	١٢,٢	١٠٠٠٠	أصيبت أيضاً خطوط ساحل أسبانيا وشمال أفريقيا.
١٧٨٣ فبراير ٥	سكيلا، إيطاليا	غ م	٢٤٧٣	زلزال مركزه قرب مسينا
١٨١١ ديسمبر ١٦	مدريد الجديدة، مونتانا	غ م	٥	ولد زلزال موجة تسونامى فى نهر الميسيسبى
١٨٢٠ ديسمبر ٢٩	إندونيسيا	٢١	غ م	حملت السفن فوق المنازل
١٨٣٧ نوفمبر ١١	شيلى	٥	غ م	دمار حتى هيلو فى هاواى
١٨٥٦ أغسطس	اليابان	غ م	٢١	عقب انفجار بركان كرماجاتيك
١٨٦٨ مارس ١٧	جزر العذراء، الولايات المتحدة	٩,١	غ م	زلزال محلى ، النشاط الزلزالى بدأ قبلها بأربعة شهور وسبب موجات تسونامى أصغر

تابع الملحق (أ)

موجات التسونامى المهمة

التاريخ	الموقع	أقصى ارتفاع	الوفيات	ملاحظات
١٨٦٨ أبريل ٢	هاواى	٣,٧	٤٦	زلزال بركانى محلى
١٨٦٨ أغسطس ١٣	بيرو	٢١	١٠٠٠٠	نتجت عن زلزال. تولدت فى هاواى موجات ٤,٦ متر
١٨٨٣ أغسطس	جاوة وسومطرة	٣٠	٣٣٠٠٠	انفجار بركان فى كراكاتاو
١٨٨٣ أكتوبر ٦	بورت جراهام، ألاسكا	٧,٦	غ م	انفجار بركانى فى مونت سانت أوجستين
١٨٩٦ يونيو ١٥	اليابان	٢٤	٢٦٩٧٥	زلزال محلى
١٩١٨ أكتوبر ١١	بورتوريكو	٦,١	٥	زلزال محلى
١٩٢٢ نوفمبر ١١	شمال شيلى	٩,١٤	٢٠٠	زلزال محلى
١٩٢٧ نوفمبر ٢١	شيلى	غ م	غ م	طارت سفينة وبحارتها إلى قمم الأشجار
١٩٢٩ نوفمبر ١٨	نيوفوندلاند	١٥	غ م	نتجت عن زلزال عند جراندبانكنز، تلف شديد عندما اكتسحت الأمواج الأنهار
١٩٣٣ مارس ٣	اليابان	٢٥	٢٩٨٦	زلزال برتبة ٨,٩
١٩٤٤ ديسمبر ٧	اليابان	غ م	٩٩٨	زلزال محلى
				زلزال فى الجزر الألوسية
١٩٤٦ أبريل ١	هاواى	١٦,٥	١٧٣	ارتفاع ٣٠ م عند جزيرة يونيماك

تابع الملحق (أ)

موجات التسونامى المهمة

التاريخ	الموقع	أقصى ارتفاع	الوفيات	ملاحظات
١٩٤٦ أغسطس ٤	جمهورية الدومينيكان	١٥	١٠٠	زلزال محلى
١٩٦٠ مايو ٢٢	جنوب شيلى	٢٠	٢٠٠٠	قُتل أيضًا ٦١ فى هاواى و١٠٠ فى اليابان، و٢٠ فى الفيلبين.
١٩٦٤ مايو ٢٧	ألاسكا	٢٠	١١٩	زلزال بمرتبة ٨,٤ موجات بالارتفاع ٦ م فى كاليفورنيا
١٩٧٥ نوفمبر ٢٩	هاواى	٤	١	تلف له قدره من الموجة . انفجر بركان كيلويا بعدها بساعة
١٩٩٢ سبتمبر ١	غرب نيكاراجوا	١٠	١٧٠	زلزال بمرتبة ٧,٠

ملحوظة :

الوفيات (العمود الرابع) هى الوفيات التى قُدرت من الموجات وحدها .

غ م = غير معروف

الملحق (ب)

الزلازل المهمة

التاريخ	المكان المصاب	عدد الوفيات	مرتبة ريختر
٥٢٦ مايو ٢٠	أنتيوش، سوريا	٢٥٠٠٠٠	غ م
٨٥٦	كورينث، اليونان	٤٥٠٠٠	غ م
١٠٥٧	تشيهلي، الصين	٢٥٠٠٠	غ م
١٢٩٠ سبتمبر ٢٧	تشيهلي، الصين	١٠٠٠٠٠	غ م
١٢٩٣ مايو ٢٠	كاماكورا، اليابان	٣٠٠٠٠	غ م
١٥٣١ مايو ٢٠	لشبونة، البرتغال	٣٠٠٠٠	غ م
١٥٥٦ يناير ٢٤	شانكسي، الصين	٨٣٠٠٠٠	غ م
١٦٦٧ نوفمبر	جنوب روسيا	٨٠٠٠٠	غ م
١٦٩٣ يناير ١١	كاتانيا، إيطاليا	٦٠٠٠٠	غ م
١٧٣٠ ديسمبر ٣٠	هوكايدو، اليابان	١٣٧٠٠٠	غ م
١٧٣٧ أكتوبر ١١	كالكتا، الهند	٣٠٠٠٠٠	غ م
١٧٥٥ يونيو ٧	شمال فارس	٤٠٠٠٠	غ م
١٧٥٥ نوفمبر ١	لشبونة، البرتغال	٣٠٠٠٠	٨,٧٥
١٧٨٣ فبراير ٤	كالابريا، إيطاليا	٣٠٠٠٠	غ م
١٧٩٧ فبراير ٤	كيتو، الإكوادور	٤١٠٠٠	غ م
١٨٢٨ ديسمبر ٢٨	إتشيجو، اليابان	٣٠٠٠٠	غ م

تابع الملحق (ب)

الزلازل المهمة

التاريخ	المكان المصاب	عدد الوفيات	مرتبة ريختر
١٨٦٨ أغسطس ١٣-١٥	بيرو والإكوادور	٤٠٠٠٠	غ م
١٧٨٥ مايو ١٦	فنزويلا وكولومبيا	١٦٠٠٠	غ م
١٩٠٦ أبريل ١٨	سان فرانسيسكو ، الولايات المتحدة	٧٠٠	٨,٢٥
١٩٠٨ ديسمبر ٢٨	مسينا، إيطاليا	١٢٠٠٠٠	٧,٥
١٩١٥ يناير ١٣	أفيزانو، إيطاليا	٢٩٩٨٠	٧,٥
١٩٢٠ ديسمبر ١٦	جانسو، الصين	١٠٠٠٠٠	٨,٦
١٩٢٣ سبتمبر ١	يوكوهاما، اليابان	٢٠٠٠٠٠	٨,٣
١٩٢٧ مايو ٢٢	نان - شان، الصين	٢٠٠٠٠٠	٨,٣
١٩٣٢ ديسمبر ٢٦	جانسو ، الصين	٧٠٠٠٠	٧,٦
١٩٣٤ يناير ١٥	بيهار - نيبال، الهند	١٠٧٠٠	٨,٤
١٩٣٥ مايو ٣١	كويتا، الهند	٥٠٠٠٠	٧,٥
١٩٣٩ يناير ٢٤	شيلى	٢٨٠٠٠	٨,٣
١٩٣٩ ديسمبر ٢٦	إرزنكان، تركيا	٣٠٠٠٠	٧,٩
١٩٤٦ ديسمبر ٢١	هونشو، اليابان	٢٠٠٠	٨,٤
١٩٥٠ أغسطس ١٥	أسام، الهند	١٥٣٠	٨,٧

تابع الملحق (ب)

الزلازل المهمة

التاريخ	المكان المصاب	عدد الوفيات	مرتبة ريختر
١٩٦٠ فبراير ٢٩	أغادير ، مراكش	١٢٠٠٠	٥,٨
١٩٦٠ مايو ٢١-٣٠	جنوب شيلي	٥٠٠٠	٨,٣
١٩٦٢ سبتمبر ١	شمال غرب إيران	١٢٢٣٠	٧,١
١٩٦٤ مارس ٢٧	ألاسكا	١٣١	٩,٣
١٩٧٠ مايو ٣١	شمال بيرو	٦٦٧٩٤	٧,٧
١٩٦٧ فبراير ٤	جواتيمالا	٢٢٧٧٨	٧,٥
١٩٧٦ يوليو ٢٨	تانجشان، الصين	٢٤٢٠٠٠	٨,٢
١٩٧٦ أغسطس ١٧	مينداناو، الفلبين	٨٠٠٠	٧,٨
١٩٧٨ سبتمبر ١٦	شمال غرب إيران	٢٥٠٠٠	٧.٧
١٩٨٥ سبتمبر ١٩	مكسيكو سيتي، المكسيك	١٠٠٠٠	٨.١
١٩٩٨ ديسمبر ٧	شمال غرب إرمينيا	٥٥٠٠٠	٦.٨
١٩٩٠ يونيو ٢١	شمال غرب إيران	٤٠٠٠٠	٧.٧
١٩٩٥ يناير ١٧	كوب، اليابان	٥٢٥٠	٧.٢

الملحق (ج)

العواصف الاستوائية والأعاصير المهمة
فى الساحل الشرقى

التاريخ	الاسم	منطقة أشد ضربة	الوفيات فى الولايات المتحدة	أشد الرياح (ميل/س)	الخسائر (ملايين)
١٩٠٠ سبتمبر ٨		جالفستون ، تكساس	٦٠٠٠	١١٠	٣٠ دولار
١٩٠٩ سبتمبر ٢١		نيو أورليانز، لويزيانا	٣٥٠	> ٦٨	٥
١٩١٥ أواخر أغسطس		تكساس، لويزيانا	٢٧٥	١٢٠	٥٠
١٩١٥ أواخر سبتمبر		وسط ساحل الخليج	٢٧٥	١٤٠	١٣
١٩١٩ أوائل سبتمبر		ساحل الخليج	٢٨٧	٨٤	١٣
١٩٢٦ وسط سبتمبر		فلوريدا وألاباما	٢٤٣	١٣٨	١١٢
١٩٢٨ وسط سبتمبر		جنوب فلوريدا	١٨٣٦	١٦٠	٢٥
١٩٣٥ أوائل سبتمبر		جنوب فلوريدا	٤٠٨	> ١٥٠	٦
١٩٣٨ سبتمبر ٢١		نيو انجلد	٦٠٠	١٨٣	٣٠٦
١٩٤٤ وسط سبتمبر		من كارولينا الشمالية إلى نيو انجلند	٤٦	١٥٠	١٠٠
١٩٤٧ وسط سبتمبر		فلوريدا ووسط ساحل الخليج	٥١	١٥٥	١١٠
١٩٥٤ أواخر	كارول	كارولينا الشمالية حتى نيو إنجلند	٦٨	١٣٥	٤٦١

تابع الملحق (ج)

العواصف الاستوائية والأعاصير المهمة

فى الساحل الشرقى

التاريخ	الاسم	منطقة أشد ضربة	الوفيات فى الولايات المتحدة	أشد الرياح (ميل/س)	الخسائر (ملايين)
١٩٥٤ أوائل سبتمبر	إدنا	نيو جيرسى حتى نيو إنجلند	٢١	٨٧	٤٠
١٩٥٤ أوائل أكتوبر	هازل	كـارولينا الجنوبيـة حـتى نيويورك	٩٥	‹ ١٣٠	٢٥٢
١٩٥٥ وسط أغسطس	ديان	كارولينا الشمالية حتى نيو إنجلند	١٨٤	٨٣	٨٣٢
١٩٥٧ أواخر يونيو	أودرى	تكساس حتى ألاباما	٣٩٠	١٠٠	١٥٠
١٩٦٠ أوائل سبتمبر	دونا	فلوريدا حتى نيو إنجلند	٥٠	١٤٠	٥٠٠
١٩٦١ أوائل سبتمبر	كارلا	ساحل تكساس	٤٦	١٤٥	٤٠٨
١٩٦٤ أواخر أغسطس	كليو	جنوب فلوريدا؛ فرجينيا	٣	١١٠	١٢٩
١٩٦٤ أوائل سبتمبر	دورا	شمـال فلوريدا حتى جنوب جورجيا	٥	١٢٥	٢٥٠
١٩٦٥ أوائل سبتمبر	بيتسى	جنوب فلوريدا؛ لويزيانا	٧٥	١٣٦	١٤٠٠
١٩٦٧ وسط سبتمبر	بيولا	جنوب تكساس	١٥	١٠٠	٢٠٠
١٩٦٩ وسط أغسطس	كاميليا	ساحل الخليج حتى فرجينيا الغربية	٣٢٤	١٧٢	١٤٢٠

تابع الملحق (ج)

العواصف الاستوائية والأعاصير المهمة في الساحل الشرقي

التاريخ	الاسم	منطقة أشد ضربة	الوفيات في الولايات المتحدة	أشد الرياح (ميل/س)	الخسائر (ملايين)
١٩٧٠ أوائل أغسطس	سيليا	ساحل تكساس	١١	١٣٠	٤٥٤
١٩٧٢ وسط يونيو	أجنس	فلوريدا حتى نيويورك	١١٨	٧٥	٢١٠٠
١٩٧٥ وسط سبتمبر	إلواز	فلوريدا وألاباما	٢١	١٠٤	٤٩٠
١٩٧٩ أوائل سبتمبر	دافيد	فلوريدا حتى نيو إنجلند	٥	٩٥	٣٢٠
١٩٧٩ أوائل سبتمبر	فردريك	ألاباما والمسيسيبي	٥	١٤٥	٢٣٠٠
١٩٨٠ أوائل أغسطس	ألن	ساحل تكساس	٢٨	١٢٠	٣٠٠
١٩٨٣ وسط أغسطس	أليسيا	ساحل تكساس	٢١	٩٤	٢٠٠٠
١٩٨٥ وسط سبتمبر	جلوريا	كارولينا الشمالية؛ نيويورك	٨	٩٢	١٠٠٠
١٩٨٩ وسط سبتمبر	هوجو	كارولينا الجنوبية	١١	١٣٥	٧٠٠٠
١٩٩٢ أواخر أغسطس	أندرو	جنوب فلوريدا؛ لويزيانا	٥٨	> ١٥٥	٣٢٠٠٠

ملحوظة : تقديرات الخسائر تأسست على مصادر معاصرة للحدث ، ولم تعدل حسب التضخم . العواصف والأعاصير في هذه القائمة قبل عام ١٩٥٤ ليس لها أسماء .

الملحق (د)

الأعاصير القمعية (تورنادو) القاتلة

تتضمن هذه القائمة كل أحداث الولايات المتحدة التى قتلت أكثر من ٥٠ نسمة منذ ١٩٢٥

التاريخ	الموضع	عدد الوفيات	ملاحظات
١٨٨٤ فبراير ١٩	إنديانا والجنوب الشرقى	٨٠٠	حوالى ٦٠ إعصاراً قمعيًا
١٩١٧ مايو ٢٦-٢٧	إلينوى إنديانا، أركنساس، كنتكى، تينسى، ميسيسبى	٢٤٩	خسائر ٥,٦ مليون دولار
١٩٢٠ أبريل ٢٠	ميسيسبى ، الاباما، تنيسى	٢٢٠	خسائر ٣,٥ مليون، ٦ أعاصير قمعية
١٩٢٤ أبريل ٢٩-٣٠	أوكلاهوما والجنوب الشرقى	١١٥	خسائر ٤,٤ مليون ، ٢٢ إعصاراً قمعيًا
١٩٢٤ يونيو ٢٨	أوهايو، بنسلفانيا	٩٦	خسائر ١٣ مليونًا ، ٤ أعاصير قمعية
١٩٢٥ مارس ١٨	مونتانا ، إلينوى، إنديانا ، كنتكى ، تينسى، ألاباما	٧٩٢	خسائر ١٧,٨ مليونًا، ٨ أعاصير قمعية
١٩٢٧ أبريل ١٢	روك سبرينجز، تكساس	٧٤	فى الظاهر إعصار قمعى واحد.
١٩٢٧ سبتمبر ٢٩	سانت لويس، مونتانا	٩٠	فى الظاهر إعصار قمعى واحد .

تابع الملحق (د)

الأعاصير القمعية (تورنادو) القاتلة

تتضمن هذه القائمة كل أحداث الولايات المتحدة التى قتلت أكثر من ٥٠ نسمة منذ ١٩٢٥

التاريخ	الموضع	عدد الوفيات	ملاحظات
١٩٣٢ مارس ٢١	الاباما، مسيسبى، جورجيا، تنيسى	٣٢١	خسائر ٥,٥ مليون، ٢٧٨ إعصار قمعى
١٩٣٦ أبريل ٥-٦	مسيسبى، جورجيا	٦٥٨	خسائر ٢١,٨ مليونًا ، ٢٢ إعصارًا قمعيًا
١٩٤٢ مارس ١٦	ميسيسبى	٧٥	
١٩٤٢ أبريل ٢٧	أوكلاهوما	٥٢	
١٩٤٤ يونيو ٢٣	أوهايو، بنسلفانيا، فرجينيا الغربية، إنديانا	١٥٠	خسائر ٥,١ مليون، ٤ أعاصير قمعية
١٩٤٥ أبريل ١٢	أوكلاهوما، اركنساس	١٠٢	
١٩٤٧ أبريل ١٩	أوكلاهوما، كانساس، تكساس	١٦٩	خسائر ١٠ ملايين، ٨ أعاصير قمعية
١٩٤٩ يناير ٣	لويزيانا، أركانساس	٥٨	
١٩٥٢ مارس ٢١-٢٢	أركانساس، مونتانا، تنيسى، ميسيسبى، الاباما، كنتكى	٣٤٣	خسائر ١٥,٣ مليونًا ، ٣١ إعصارًا قمعيًا

تابع الملحق (د)

الأعاصير القمعية (تورنادو) القاتلة

تتضمن هذه القائمة كل أحداث الولايات المتحدة التى قتلت أكثر من ٥٠ نسمة منذ ١٩٢٥

التاريخ	الموضع	عدد الوفيات	ملاحظات
١٩٥٣ مايو ١١	واكو ، تكساس	١١٤	خسائر ٣٩,٥ مليونًا ، إعصار قمعى واحد
١٩٥٣ يونيو ٨-٩	ميتشيجان، أوهايو، نيو إنجلند	٢٣٤	خسائر ٩٣,٢ مليونًا ، ١٢ إعصاراً قمعيًا
١٩٥٥ مايو ٢٥	كانساس، مونتانا، أوهايو ، تكساس	١١٥	خسائر ١١,٧ مليونًا ، ١٣ إعصاراً قمعيًا
١٩٦٥ أبريل ١١	إنديانا، إلينوى، أوهايو ، ميتشجان، ويسكونسن	٢٧١	خسائر ٢٠٠ مليون، ٤٧ إعصاراً قمعيًا
١٩٦٦ مارس ٣	ألاباما ، ميسيسبى	١١٨	
١٩٦٨ مايو ١٥	الغرب الأوسط	٧١	خسائر ٦٥ مليونًا ، ٧ أعاصير قمعية
١٩٧١ فبراير ٢١	لويزيانا، ميسيسبى	١١٠	خسائر ١٧ مليونًا ، أعاصير قمعية عديدة
١٩٧٤ أبريل ٣-٤	ألاباما، جورجيا ، تنيسى، كنتكى، أوهايو	٣٥٠	خسائر ٥٠٠ مليون ، ٤٤ إعصاراً قمعيًا
١٩٧٩ أبريل ١٠	تكساس، أوكلاهوما	٦٠	١٠ أعاصير قمعية

تابع الملحق (د)

الأعاصير القمعية (تورنادو) القاتلة

تتضمن هذه القائمة كل أحداث الولايات المتحدة التي قتلت أكثر من ٥٠ نسمة منذ ١٩٢٥

التاريخ	الموضع	عدد الوفيات	ملاحظات
١٩٨٤ مارس ٢٨	ولايتي كارولينا	٦٧	خسائر > ١٠٣ مليون دولار ٣٠ إعصاراً قمعياً
١٩٨٥ مايو ٣١	نيويورك، بنسلفانيا، أوهايو، أونتاريو	٩٠	٤٣ إعصاراً قمعياً
١٩٨٧ مايو ٢٢	تكساس	٢٩	
١٩٨٩ نوفمبر ١٥	ألاباما	١٨	
١٩٨٩ نوفمبر ١٦	نيويورك	٩	إعصار قمعي واحد في ف-١
١٩٩٠ يونيو ٢ - ٣	الغرب الأوسط	١٣	
١٩٩٠ أغسطس ٢٨	شمال إلينوي	٢٥	
١٩٩١ أبريل ٢٦	كانساس، أوكلاهوما	٢٣	٥٥ إعصاراً قمعياً
١٩٩٢ نوفمبر ٢١-٢٣	الولايات الجنوبية الوسطى	٢٥	

الملحق (هـ)

وحدات القياس

تحويل الوحدات المعتادة في الولايات المتحدة لوحدات القياس الدولية. ملحوظة: الأرقام بين الأقواس مضبوطة حسب التعريف الدولي.

القياس الخطي :

"١" قدم = "١٢" بوصة = "٣٠٤٨, ٠" متر.

"١" متر = "١٠٠" سنتيمتر = ٣,٢٨٠٨٤٠ قدم

"١" كيلو متر= "١٠٠٠" متر = ٣٢٨٠,٨٤٠ قدم

"١" ميل = "٥٢٨٠" قدم = "١,٦٠٩٣٤٤" كيلو متر

"١" ميل بحرى = ١,١٥٠٧٧ ميل تشريعى = "١٨٥٢" متر = ٦٠٧٦,٠٤ قدم

"١" ذراع (رومانى قديم) = ٤٤٤, ٠ متر

المساحة :

"١" بوصة مربعة = "٦,٤٥١٦" سنتيمتر مربع

"١" قدم مربع = "١٤٤" بوصة مربعة = "٩٢٩,٣٠٤" سنتيمتر مربع

"١" متر مربع = ١٠,٧٦٣٩١ قدم مربع = "١× ١٠ ⁴" سنتيمتر مربع

"١" آكر = "٤٣٥٦٠" قدم مربع = ٤٠٤٦,٨٦ متر مربع

"١" هكتار = ١×١٠ ⁴" متر مربع = ٢,٤٧١٠٥٢ آكر

"١" ميل مربع = "٦٤٠" آكر

الحجم (أو السعة) :

"١" بوصة مكعبة = "١٦,٣٨٧٠٦٤" سنتيمتر مكعب

"١" لتر = "١٠٠٠" سنتيمتر مكعب = ٦١,٠٢٣٧٤ بوصة مكعبة

"١" جالون = "٤" كوارت = "١٢٨" أوقية سائلة = ٣,٧٨٥٤١٢ لتر

"١" قدم مكعب = ٧,٤٨٠٥١٩ جالون = ٢٨,٣١٦٨٥ لتر = "١٧٢٨" بوصة مكعبة

"١" متر مكعب = "١٠٠٠" لتر = ٣٥,٣١٤٦٧ قدم مكعب = ٢٦٤,١٧٢١ جالون

السرعة :

"١" قدم فى الثانية = ١,٠٩٧٢٨ كيلو متر فى الساعة = ٠,٦٨١٨١٨ ميل فى الساعة

"١" متر فى الثانية = ٣,٢٨٠٨٤٠ قدم فى الثانية = ٢,٢٣٦٩٣٦ ميل فى الساعة

"١" ميل فى الساعة = "٠,٤٤٧٠٤" متر فى الدقيقة

"١" ميل فى الساعة = "١,٦٠٩٣٤٤" كيلو متر فى الساعة

"٦٠" ميل فى الساعة = "٨٨" قدم فى الثانية

الكتلة :

"١" كيلو جرام = "١٠٠٠" جرام = ٢,٢٠٤٦٢٤ رطل - كتلة

"١" رطل - كتلة = "٤٥٣,٥٩٢٩٠٢٩" جرام

"١" سلج = ٣٢,١٧٤٠٥ رطل كتلة = ١٤,٥٩٣٩٠٢٩ كيلو جرام

"١" طن TON "٢٠٠٠" رطل - كتلة = "٩٠٧,١٨٤٧٤" كيلو جرام

"١" طن مترى = "١٠٠٠" كيلو جرام = "١" طن TONNE

القوة (بما فيها الوزن):

"١" نيوتن = ٠,٢٢٤٨٠٨٩ رطل

"١" رطل = ٤,٤٤٨٢٢٢ نيوتن = "٠,٤٥٣٥٩٢٣٧" كيلو جرام - قوة

الضغط:

"١" باسكال = ١ نيوتن فى المتر المربع

"١" رطل فى البوصة المربعة = ٦٨٩٤,٧٥٧٢ باسكال (با)

"١" جو معيارى = "١٠١,٥٢٣" كيلو باسكال (ك با)

= "١٠١٣,٢٥" ميللى خط (م خ)

= ١٤,٦٩٥٩٥ رطل/بوصة مربعة

= ١,٠٣٣٢٢٧٥ كجم ق/سنتيمتر مربع

= "٧٦٠" مم زئبق

= ٢٩,٩٢١٢٦ بوصة زئبق

الطاقة :

"١" جول = "١" نيوتن - متر = ٠,٧٣٧٥٦٢ قدم - رطل

"١" قدم - رطل = ١,٣٥٥٨١٨ جول

"١" كيلوات - ساعة = "٣,٦" × ١٠ "٦" جول

"١" طن ت.ن.ت (مكافئ نووي) = ٤,٢ × ١٠ ٩ جول

المؤلف فى سطور:

د. إرنست زيبروسكى

ولد فى عام ١٩٤٤ بالقرب من بيتسبرج، بنسلفانيا. وقد درس الفيزياء والرياضيات فى جامعة ديوكسن، ثم خدم فى قوات الولايات المتحدة للسلام فى ليبريا بغرب أفريقيا، وقد عمل فى قسم أبحاث جونز ولوفلين فى بيتسبرج حيث أنشأ نماذج كمبيوتر وتكنيكات محاكاة من نوع مونت كارلو للتنبؤ بسلوك المنشآت الإنتاجية الكبيرة التى تتفاعل معًا. ونال درجة دكتوراه الفلسفة PH. D من جامعة بيتسبرج فى عام ١٩٨١ . نشر د. زيبروسكى ثلاثة كتب عن الفيزياء التطبيقية، واعتُرف به كشاهد خبرة فى قضايا المحاكم التى تتضمن حوادث صناعية. وينبع اهتمامه بالكوارث الطبيعية من أسفاره ومن العديد من ممارساته المباشرة بنفسه. وهو يعمل فى إدارة التعليم ببنسلفانيا فى مجلس اعتماد برامج مدرسى العلم، وفى لجنة التثقيف العلمى للجماهير فى الجمعية الأمريكية لمدرسى الفيزياء. ويعمل حاليًا كأستاذ للفيزياء فى كلية بنسلفانيا للتكنولوجيا بجامعة ولاية بنسلفانيا.

المترجم فى سطور :

د . مصطفى إبراهيم فهمى

- دكتوراه الكيمياء الأكلنكية - جامعة لندن ١٩١٩
- عضو لجنة الثقافة العلمية بالمجلس الأعلى للثقافة .
- رئيس اللجنة الفرعية للثقافة الطبية بالمجلس الأعلى للثقافة .
- ترجم ما يزيد عن أربعين كتابًا فى الثقافة العلمية .
- جائزة ترجمة أحسن كتاب فى الثقافة العلمية .

  معرض كتاب القاهرة ١٩٩٥ ، ٢٠٠١ .
- جائزة المجلس الأعلى للثقافة لترجمة الكتب العلمية ١٩٩٦ .
- جائزة ترجمة أحسن كتاب فى الثقافة العلمية .

  فى معرض الكويت للكتاب ٢٠٠٠ .

المشروع القومى للترجمة

المشروع القومى للترجمة مشروع تنمية ثقافية بالدرجة الأولى ، ينطلق من الإيجابيات التى حققتها مشروعات الترجمة التى سبقته فى مصر والعالم العربى ويسعى إلى الإضافة بما يفتح الأفق على وعود المستقبل، معتمداً المبادئ التالية :

١- الخروج من أسر المركزية الأوروبية وهيمنة اللغتين الإنجليزية والفرنسية .

٢- التوازن بين المعارف الإنسانية فى المجالات العلمية والفنية والفكرية والإبداعية .

٣- الانحياز إلى كل ما يؤسس لأفكار التقدم وحضور العلم وإشاعة العقلانية والتشجيع على التجريب .

٤- ترجمة الأصول المعرفية التى أصبحت أقرب إلى الإطار المرجعى فى الثقافة الإنسانية المعاصرة، جنباً إلى جنب المنجزات الجديدة التى تضع القارئ فى القلب من حركة الإبداع والفكر العالميين .

٥- العمل على إعداد جيل جديد من المترجمين المتخصصين عن طريق ورش العمل بالتنسيق مع لجنة الترجمة بالمجلس الأعلى للثقافة .

٦- الاستعانة بكل الخبرات العربية وتنسيق الجهود مع المؤسسات المعنية بالترجمة .

المشروع القومي للترجمة

١-	اللغة العليا	جون كوين	أحمد درويش
٢-	الوثنية والإسلام (ط١)	ك. مادهو بانيكار	أحمد فؤاد بلبع
٣-	التراث المسروق	جورج جيمس	شوقي جلال
٤-	كيف تتم كتابة السيناريو	انجا كاريتنيكوفا	أحمد الحضري
٥-	ثريا في غيبوبة	إسماعيل فصيح	محمد علاء الدين منصور
٦-	اتجاهات البحث اللساني	ميلكا إفيتش	سعد مصلوح ووفاء كامل فايد
٧-	العلوم الإنسانية والفلسفة	لوسيان غولدمان	يوسف الأنطكي
٨-	مشعلو الحرائق	ماكس فريش	مصطفى ماهر
٩-	التغيرات البيئية	أندرو. س. جودي	محمود محمد عاشور
١٠-	خطاب الحكاية	جيرار جينيت	محمد معتصم وعبد الجليل الأزدي وعمر حلي
١١-	مختارات شعرية	فيسوافا شيمبوريسكا	هناء عبد الفتاح
١٢-	طريق الحرير	ديفيد براونيستون وأيرين فرانك	أحمد محمود
١٣-	ديانة الساميين	روبرتسن سميث	عبد الوهاب علوب
١٤-	التحليل النفسي للأدب	جان بيلمان نويل	حسن المودن
١٥-	الحركات الفنية منذ ١٩٤٥	إدوارد لوسي سميث	أشرف رفيق عفيفي
١٦-	أثينة السوداء (جـ١)	مارتن برنال	بإشراف: أحمد عتمان
١٧-	مختارات شعرية	فيليب لاركين	محمد مصطفى بدوي
١٨-	الشعر النسائي في أمريكا اللاتينية	مختارات	طلعت شاهين
١٩-	الأعمال الشعرية الكاملة	جورج سفيريس	نعيم عطية
٢٠-	قصة العلم	ج. ج. كراوثر	يمنى طريف الخولي و بدوي عبد الفتاح
٢١-	خوخة وألف خوخة وقصص أخرى	صمد بهرنجي	ماجدة العناني
٢٢-	مذكرات رحالة عن المصريين	جون أنتيس	سيد أحمد علي الناصري
٢٣-	تجلي الجميل	هانز جيورج جادامر	سعيد توفيق
٢٤-	ظلال المستقبل	باتريك بارندر	بكر عباس
٢٥-	مثنوى	مولانا جلال الدين الرومي	إبراهيم الدسوقي شتا
٢٦-	دين مصر العام	محمد حسين هيكل	أحمد محمد حسين هيكل
٢٧-	التنوع البشري الخلاق	مجموعة من المؤلفين	بإشراف: جابر عصفور
٢٨-	رسالة في التسامح	جون لوك	منى أبو سنة
٢٩-	الموت والوجود	جيمس ب. كارس	بدر الديب
٣٠-	الوثنية والإسلام (ط٢)	ك. مادهو بانيكار	أحمد فؤاد بلبع
٣١-	مصادر دراسة التاريخ الإسلامي	جان سوفاجيه - كلود كاين	عبد الستار الحلوجي وعبد الوهاب علوب
٣٢-	الانقراض	ديفيد روب	مصطفى إبراهيم فهمي
٣٣-	التاريخ الاقتصادي لأفريقيا الغربية	أ. ج. هوبكنز	أحمد فؤاد بلبع
٣٤-	الرواية العربية	روجر آلن	حصة إبراهيم المنيف
٣٥-	الأسطورة والحداثة	بول ب . ديكسون	خليل كلفت
٣٦-	نظريات السرد الحديثة	والاس مارتن	حياة جاسم محمد

٣٧-	واحة سيوة وموسيقاها	بريجيت شيفر	جمال عبد الرحيم
٣٨-	نقد الحداثة	ألن تورين	أنور مغيث
٣٩-	الحسد والإغريق	بيتر والكوت	منيرة كروان
٤٠-	قصائد حب	آن سكستون	محمد عيد إبراهيم
٤١-	ما بعد المركزية الأوروبية	بيتر جران	عاطف أحمد وإبراهيم فتحى ومحمود ماجد
٤٢-	عالم ماك	بنجامين باربر	أحمد محمود
٤٣-	اللهب المزدوج	أوكتافيو باث	المهدى أخريف
٤٤-	بعد عدة أصياف	ألدوس هكسلى	مارلين تادرس
٤٥-	التراث المغدور	روبرت دينا وجون فاين	أحمد محمود
٤٦-	عشرون قصيدة حب	بابلو نيرودا	محمود السيد على
٤٧-	تاريخ النقد الأدبى الحديث (جـ١)	رينيه ويليك	مجاهد عبد المنعم مجاهد
٤٨-	حضارة مصر الفرعونية	فرانسوا دوما	ماهر جويجاتى
٤٩-	الإسلام فى البلقان	هـ . ت . نوريس	عبد الوهاب علوب
٥٠-	ألف ليلة وليلة أو القول الأسير	جمال الدين بن الشيخ	محمد برادة وعثمانى الميلود ويوسف الأنطكى
٥١-	مسار الرواية الإسبانو أمريكية	داريو بيانويبا وخ. م. بينياليستى	محمد أبو العطا
٥٢-	العلاج النفسى التدعيمى	ب. نوفاليس وس . روجسيفيتز وروجر بيل	لطفى فطيم وعادل دمرداش
٥٣-	الدراما والتعليم	أ . ف . ألنجتون	مرسى سعد الدين
٥٤-	المفهوم الإغريقى للمسرح	ج . مايكل والتون	محسن مصيلحى
٥٥-	ما وراء العلم	جون بولكنجهوم	على يوسف على
٥٦-	الأعمال الشعرية الكاملة (جـ١)	فديريكو غرسية لوركا	محمود على مكى
٥٧-	الأعمال الشعرية الكاملة (جـ٢)	فديريكو غرسية لوركا	محمود السيد و ماهر البطوطى
٥٨-	مسرحيتان	فديريكو غرسية لوركا	محمد أبو العطا
٥٩-	المحبرة (مسرحية)	كارلوس مونييث	السيد السيد سهيم
٦٠-	التصميم والشكل	جوهانز إيتين	صبرى محمد عبد الغنى
٦١-	موسوعة علم الإنسان	شارلوت سيمور - سميث	بإشراف : محمد الجوهرى
٦٢-	لذّة النّص	رولان بارت	محمد خير البقاعى
٦٣-	تاريخ النقد الأدبى الحديث (جـ٢)	رينيه ويليك	مجاهد عبد المنعم مجاهد
٦٤-	برتراند راسل (سيرة حياة)	آلان وود	رمسيس عوض
٦٥-	فى مدح الكسل ومقالات أخرى	برتراند راسل	رمسيس عوض
٦٦-	خمس مسرحيات أندلسية	أنطونيو جالا	عبد اللطيف عبد الحليم
٦٧-	مختارات شعرية	فرناندو بيسوا	المهدى أخريف
٦٨-	نتاشا العجوز وقصص أخرى	فالنتين راسبوتين	أشرف الصباغ
٦٩-	العالم الإسلامى فى أوائل القرن العشرين	عبد الرشيد إبراهيم	أحمد فؤاد متولى وهويدا محمد فهمى
٧٠-	ثقافة وحضارة أمريكا اللاتينية	أوخينيو تشانج رودريجث	عبد الحميد غلاب وأحمد حشاد
٧١-	السيدة لا تصلح إلا الرمى	داريو فو	حسين محمود
٧٢-	السياسى العجوز	ت . س . إليوت	فؤاد مجلى
٧٣-	نقد استجابة القارئ	چين ب . تومبكنز	حسن ناظم وعلى حاكم
٧٤-	صلاح الدين والمماليك فى مصر	ل . ا . سيمينوفا	حسن بيومى

٧٥-	فن التراجم والسير الذاتية	أندريه موروا	أحمد درويش
٧٦-	جاك لاكان وإغواء التحليل النفسى	مجموعة من المؤلفين	عبد المقصود عبد الكريم
٧٧-	تاريخ النقد الأدبى الحديث (جـ٢)	رينيه ويليك	مجاهد عبد المنعم مجاهد
٧٨-	العولمة : النظرية الاجتماعية والثقافة الكونية	رونالد روبرتسون	أحمد محمود ونورا أمين
٧٩-	شعرية التأليف	بوريس أوسبنسكى	سعيد الغانمى وناصر حلاوى
٨٠-	بوشكين عند «نافورة الدموع»	ألكسندر بوشكين	مكارم الغمرى
٨١-	الجماعات المتخيلة	بندكت أندرسن	محمد طارق الشرقاوى
٨٢-	مسرح ميجيل	ميجيل دى أونامونو	محمود السيد على
٨٣-	مختارات شعرية	غوتفريد بن	خالد المعالى
٨٤-	موسوعة الأدب والنقد (جـ١)	مجموعة من المؤلفين	عبد الحميد شيحة
٨٥-	منصور الحلاج (مسرحية)	صلاح زكى أقطاى	عبد الرازق بركات
٨٦-	طول الليل (رواية)	جمال مير صادقى	أحمد فتحى يوسف شتا
٨٧-	نون والقلم (رواية)	جلال آل أحمد	ماجدة العنانى
٨٨-	الابتلاء بالتغرب	جلال آل أحمد	إبراهيم الدسوقى شتا
٨٩-	الطريق الثالث	أنتونى جيدنز	أحمد زايد ومحمد محيى الدين
٩٠-	وسم السيف وقصص أخرى	بورخيس وآخرون	محمد إبراهيم مبروك
٩١-	المسرح والتجريب بين النظرية والتطبيق	باربرا لاسوتسكا - بشونباك	محمد هناء عبد الفتاح
٩٢-	أساليب ومضامين المسرح الإسبانوامريكى المعاصر	كارلوس ميجيل	نادية جمال الدين
٩٣-	محدثات العولمة	مايك فيذرستون وسكوت لاش	عبد الوهاب علوب
٩٤-	مسرحيتا الحب الأول والصحبة	صمويل بيكيت	فوزية العشماوى
٩٥-	مختارات من المسرح الإسبانى	أنطونيو بويرو باييخو	سرى محمد عبد اللطيف
٩٦-	ثلاث زنبقات ووردة وقصص أخرى	نخبة	إدوار الخراط
٩٧-	هوية فرنسا (مج١)	فرنان برودل	بشير السباعى
٩٨-	الهم الإنسانى والابتزاز الصهيونى	مجموعة من المؤلفين	أشرف الصباغ
٩٩-	تاريخ السينما العالمية (١٨٩٥-١٩٨٠)	ديفيد روبنسون	إبراهيم قنديل
١٠٠-	مساءلة العولمة	بول هيرست وجراهام تومبسون	إبراهيم فتحى
١٠١-	النص الروائى: تقنيات ومناهج	بيرنار فاليط	رشيد بنحدو
١٠٢-	السياسة والتسامح	عبد الكبير الخطيبى	عز الدين الكتانى الإدريسى
١٠٣-	قبر ابن عربى يليه آياء (شعر)	عبد الوهاب المؤدب	محمد بنيس
١٠٤-	أوبرا ماهوجنى (مسرحية)	برتولت بريشت	عبد الغفار مكاوى
١٠٥-	مدخل إلى النص الجامع	چيرار چينيت	عبد العزيز شبيل
١٠٦-	الأدب الأندلسى	ماريا خيسوس روبييرامتى	أشرف على دعدور
١٠٧-	صورة الفدائى فى الشعر الأمريكى اللاتينى المعاصر	نخبة من الشعراء	محمد عبد الله الجعيدى
١٠٨-	ثلاث دراسات عن الشعر الأندلسى	مجموعة من المؤلفين	محمود على مكى
١٠٩-	حروب المياه	چون بولوك وعادل درويش	هاشم أحمد محمد
١١٠-	النساء فى العالم النامى	حسنة بيجوم	منى قطان
١١١-	المرأة والجريمة	فرانسس هيدسون	ريهام حسين إبراهيم
١١٢-	الاحتجاج الهادئ	أرلين علوى ماكليود	إكرام يوسف

١١٣- راية التمرد	سادى بلانت	أحمد حسان
١١٤- مسرحيتا حصاد كونجى وسكان المستنقع	وول شوينكا	نسيم مجلى
١١٥- غرفة تخص المرء وحده	فرجينيا وولف	سمية رمضان
١١٦- امرأة مختلفة (درية شفيق)	سينثيا نلسون	نهاد أحمد سالم
١١٧- المرأة والجنوسة فى الإسلام	ليلى أحمد	منى إبراهيم وهالة كمال
١١٨- النهضة النسائية فى مصر	بث بارون	لميس النقاش
١١٩- النساء والأسرة وقوانين الطلاق فى التاريخ الإسلامى	أميرة الأزهرى سنبل	بإشراف: رءوف عباس
١٢٠- الحركة النسائية والتطور فى الشرق الأوسط	ليلى أبو لغد	مجموعة من المترجمين
١٢١- الدليل الصغير فى كتابة المرأة العربية	فاطمة موسى	محمد الجندى وإيزابيل كمال
١٢٢- نظام العبودية القديم والنموذج المثالى للإنسان	جوزيف فوجت	منيرة كروان
١٢٣- الإمبراطورية العثمانية وعلاقاتها الدولية	أنيئل ألكسندرو فنادولينا	أنور محمد إبراهيم
١٢٤- الفجر الكاذب: أوهام الرأسمالية العالمية	چون جراى	أحمد فؤاد بلبع
١٢٥- التحليل الموسيقى	سيدرك ثورپ ديفى	سمحة الخولى
١٢٦- فعل القراءة	فولفانج إيسر	عبد الوهاب علوب
١٢٧- إرهاب (مسرحية)	صفاء فتحى	بشير السباعى
١٢٨- الأدب المقارن	سوزان باسنيت	أميرة حسن نويرة
١٢٩- الرواية الإسبانية المعاصرة	ماريا دولورس أسيس جاروته	محمد أبو العطا وآخرون
١٣٠- الشرق يصعد ثانية	أندريه جوندر فرانك	شوقى جلال
١٣١- مصر القديمة: التاريخ الاجتماعى	مجموعة من المؤلفين	لويس بقطر
١٣٢- ثقافة العولمة	مايك فيذرستون	عبد الوهاب علوب
١٣٣- الخوف من المرايا (رواية)	طارق على	طلعت الشايب
١٣٤- تشريح حضارة	بارى ج. كيمب	أحمد محمود
١٣٥- المختار من نقد ت. س. إليوت	ت. س. إليوت	ماهر شفيق فريد
١٣٦- فلاحو الباشا	كينيث كونو	سحر توفيق
١٣٧- مذكرات ضابط فى الحملة الفرنسية على مصر	چوزيف مارى مواريه	كاميليا صبحى
١٣٨- عالم التليفزيون بين الجمال والعنف	أندريه جلوكسمان	وجيه سمعان عبد المسيح
١٣٩- پارسيفال (مسرحية)	ريتشارد فاچنر	مصطفى ماهر
١٤٠- حيث تلتقى الأنهار	هربرت ميسن	أمل الجبورى
١٤١- اثنتا عشرة مسرحية يونانية	مجموعة من المؤلفين	نعيم عطية
١٤٢- الإسكندرية : تاريخ ودليل	أ. م. فورستر	حسن بيومى
١٤٣- قضايا التنظير فى البحث الاجتماعى	ديرك لايدر	عدلى السمرى
١٤٤- صاحبة اللوكاندة (مسرحية)	كارلو جولدونى	سلامة محمد سليمان
١٤٥- موت أرتيميو كروث (رواية)	كارلوس فوينتس	أحمد حسان
١٤٦- الورقة الحمراء (رواية)	ميجيل دى ليبس	على عبدالروف البمبى
١٤٧- مسرحيتان	تانكريد دورست	عبدالغفار مكاوى
١٤٨- القصة القصيرة: النظرية والتقنية	إنريكى أندرسون إمبرت	على إبراهيم منوفى
١٤٩- النظرية الشعرية عند إليوت وأدونيس	عاطف فضول	أسامة إسبر
١٥٠- التجربة الإغريقية	روبرت ج. ليتمان	منيرة كروان

١٥١-	هوية فرنسا (مج ٢ ، جـ١)	فرنان بروديل	بشير السباعى
١٥٢-	عدالة الهنود وقصص أخرى	مجموعة من المؤلفين	محمد محمد الخطابى
١٥٣-	غرام الفراعنة	فيولين فانويك	فاطمة عبدالله محمود
١٥٤-	مدرسة فرانكفورت	فيل سليتر	خليل كلفت
١٥٥-	الشعر الأمريكى المعاصر	نخبة من الشعراء	أحمد مرسى
١٥٦-	المدارس الجمالية الكبرى	جى أنبال وآلان وأوديت فيرمو	مى التلمسانى
١٥٧-	خسرو وشيرين	النظامى الكنجوى	عبدالعزيز بقوش
١٥٨-	هوية فرنسا (مج ٢ ، جـ٢)	فرنان بروديل	بشير السباعى
١٥٩-	الأيديولوجية	ديفيد هوكس	إبراهيم فتحى
١٦٠-	آلة الطبيعة	بول إيرليش	حسين بيومى
١٦١-	مسرحيتان من المسرح الإسبانى	أليخاندرو كاسونا وأنطونيو جالا	زيدان عبدالحليم زيدان
١٦٢-	تاريخ الكنيسة	يوحنا الأسيوى	صلاح عبدالعزيز محجوب
١٦٣-	موسوعة علم الاجتماع (جـ ١)	جوردون مارشال	بإشراف: محمد الجوهرى
١٦٤-	شامبوليون (حياة من نور)	چان لاكوتير	نبيل سعد
١٦٥-	حكايات الثعلب (قصص أطفال)	أ. ن. أفاناسيفا	سهير المصادفة
١٦٦-	العلاقات بين المتدينين والعلمانيين فى إسرائيل	يشعياهو ليفمان	محمد محمود أبوغدير
١٦٧-	فى عالم طاغور	رابندرنات طاغور	شكرى محمد عياد
١٦٨-	دراسات فى الأدب والثقافة	مجموعة من المؤلفين	شكرى محمد عياد
١٦٩-	إبداعات أدبية	مجموعة من المؤلفين	شكرى محمد عياد
١٧٠-	الطريق (رواية)	ميجيل دليبيس	بسام ياسين رشيد
١٧١-	وضع حد (رواية)	فرانك بيجو	هدى حسين
١٧٢-	حجر الشمس (شعر)	نخبة	محمد محمد الخطابى
١٧٣-	معنى الجمال	ولتر ت. ستيس	إمام عبد الفتاح إمام
١٧٤-	صناعة الثقافة السوداء	إيليس كاشمور	أحمد محمود
١٧٥-	التليفزيون فى الحياة اليومية	لورينزو فيلشس	وجيه سمعان عبد المسيح
١٧٦-	نحو مفهوم للاقتصاديات البيئية	توم تيتنبرج	جلال البنا
١٧٧-	أنطون تشيخوف	هنرى تروايا	حصة إبراهيم المنيف
١٧٨-	مختارات من الشعر اليونانى الحديث	نخبة من الشعراء	محمد حمدى إبراهيم
١٧٩-	حكايات أيسوب (قصص أطفال)	أيسوب	إمام عبد الفتاح إمام
١٨٠-	قصة جاويد (رواية)	إسماعيل فصيح	سليم عبد الأمير حمدان
١٨١-	النقد الأدبى الأمريكى من الثلاثينيات إلى الثمانينيات	فنسنت ب. ليتش	محمد يحيى
١٨٢-	العنف والنبوءة (شعر)	و.ب. ييتس	ياسين طه حافظ
١٨٣-	چان كوكتو على شاشة السينما	رينيه جيلسون	فتحى العشرى
١٨٤-	القاهرة: حالمة لا تنام	هانز إبندورفر	دسوقى سعيد
١٨٥-	أسفار العهد القديم فى التاريخ	توماس تومسن	عبد الوهاب علوب
١٨٦-	معجم مصطلحات هيجل	ميخائيل إنوود	إمام عبد الفتاح إمام
١٨٧-	الأرضة (رواية)	بُزرج علوى	محمد علاء الدين منصور
١٨٨-	موت الأدب	ألفين كرنان	بدر الديب

١٨٩- العمى والبصيرة: مقالات في بلاغة النقد المعاصر	بول دي مان	سعيد الغانمي
١٩٠- محاورات كونفوشيوس	كونفوشيوس	محسن سيد فرجاني
١٩١- الكلام رأسمال وقصص أخرى	الحاج أبو بكر إمام وآخرون	مصطفى حجازي السيد
١٩٢- سياحت نامه إبراهيم بك (جـ١)	زين العابدين المراغي	محمود علاوي
١٩٣- عامل المنجم (رواية)	بيتر أبراهامز	محمد عبد الواحد محمد
١٩٤- مختارات من النقد الأنجلو-أمريكي الحديث	مجموعة من النقاد	ماهر شفيق فريد
١٩٥- شتاء ٨٤ (رواية)	إسماعيل فصيح	محمد علاء الدين منصور
١٩٦- المهلة الأخيرة (رواية)	فالنتين راسبوتين	أشرف الصباغ
١٩٧- سيرة الفاروق	شمس العلماء شبلي النعماني	جلال السعيد الحفناوي
١٩٨- الاتصال الجماهيري	إدوين إمري وآخرون	إبراهيم سلامة إبراهيم
١٩٩- تاريخ يهود مصر في الفترة العثمانية	يعقوب لانداو	جمال أحمد الرفاعي وأحمد عبد اللطيف حماد
٢٠٠- ضحايا التنمية: المقاومة والبدائل	جيرمي سيبروك	فخري لبيب
٢٠١- الجانب الديني للفلسفة	جوزايا رويس	أحمد الأنصاري
٢٠٢- تاريخ النقد الأدبي الحديث (جـ٤)	رينيه ويليك	مجاهد عبد المنعم مجاهد
٢٠٣- الشعر والشاعرية	ألطاف حسين حالي	جلال السعيد الحفناوي
٢٠٤- تاريخ نقد العهد القديم	زالمان شازار	أحمد هويدي
٢٠٥- الجينات والشعوب واللغات	لويجي لوقا كافاللي- سفورزا	أحمد مستجير
٢٠٦- الهيولية تصنع علماً جديداً	جيمس جلايك	علي يوسف علي
٢٠٧- ليل أفريقي (رواية)	رامون خوتاسندير	محمد أبو العطا
٢٠٨- شخصية العربي في المسرح الإسرائيلي	دان أوريان	محمد أحمد صالح
٢٠٩- السرد والمسرح	مجموعة من المؤلفين	أشرف الصباغ
٢١٠- مثنويات حكيم سنائي (شعر)	سنائي الغزنوي	يوسف عبد الفتاح فرج
٢١١- فرديناند دوسوسير	جوناثان كللر	محمود حمدي عبد الغني
٢١٢- قصص الأمير مرزبان على لسان الحيوان	مرزبان بن رستم بن شروين	يوسف عبدالفتاح فرج
٢١٣- مصر منذ قدوم نابليون حتى رحيل عبدالناصر	ريمون فلاور	سيد أحمد علي الناصري
٢١٤- قواعد جديدة للمنهج في علم الاجتماع	أنتوني جيدنز	محمد محيي الدين
٢١٥- سياحت نامه إبراهيم بك (جـ٢)	زين العابدين المراغي	محمود علاوي
٢١٦- جوانب أخرى من حياتهم	مجموعة من المؤلفين	أشرف الصباغ
٢١٧- مسرحيتان طليعيتان	صمويل بيكيت وهارولد بينتر	نادية البنهاوي
٢١٨- لعبة الحجلة (رواية)	خوليو كورتاثار	علي إبراهيم منوفي
٢١٩- بقايا اليوم (رواية)	كازو إيشجورو	طلعت الشايب
٢٢٠- الهيولية في الكون	باري باركر	علي يوسف علي
٢٢١- شعرية كفافي	جريجوري جوزدانيس	رفعت سلام
٢٢٢- فرانز كافكا	رونالد جراي	نسيم مجلي
٢٢٣- العلم في مجتمع حر	باول فيرابند	السيد محمد نفادي
٢٢٤- دمار يوغسلافيا	برانكا ماجاس	منى عبدالظاهر إبراهيم
٢٢٥- حكاية غريق (رواية)	جابرييل جارثيا ماركيث	السيد عبدالظاهر السيد
٢٢٦- أرض المساء وقصائد أخرى	ديفيد هربت لورانس	طاهر محمد علي البربري

٢٢٧- المسرح الإسبانى فى القرن السابع عشر	خوسيه ماريا دييث بوركى	السيد عبدالظاهر عبدالله
٢٢٨- علم الجمالية وعلم اجتماع الفن	جانيت وولف	مارى تيريز عبدالمسيح وخالد حسن
٢٢٩- مأزق البطل الوحيد	نورمان كيجان	أمير إبراهيم العمرى
٢٣٠- عن الذباب والفئران والبشر	فرانسواز جاكوب	مصطفى إبراهيم فهمى
٢٣١- الدرافيل أو الجيل الجديد (مسرحية)	خايمى سالوم بيدال	جمال عبدالرحمن
٢٣٢- ما بعد المعلومات	توم ستونير	مصطفى إبراهيم فهمى
٢٣٣- فكرة الاضمحلال فى التاريخ الغربى	أرثر هيرمان	طلعت الشايب
٢٣٤- الإسلام فى السودان	ج. سبنسر تريمنجهام	فؤاد محمد عكود
٢٣٥- ديوان شمس تبريزى (جـ١)	مولانا جلال الدين الرومى	إبراهيم الدسوقى شتا
٢٣٦- الولاية	ميشيل شوبكيفيتش	أحمد الطيب
٢٣٧- مصر أرض الوادى	روبين فيدين	عنايات حسين طلعت
٢٣٨- العولمة والتحرير	تقرير لمنظمة الأنكتاد	ياسر محمد جادالله وعربى مدبولى أحمد
٢٣٩- العربى فى الأدب الإسرائيلى	جيلا رامراز - رايوخ	نادية سليمان حافظ وإيهاب صلاح فايق
٢٤٠- الإسلام والغرب وإمكانية الحوار	كاى حافظ	صلاح محجوب إدريس
٢٤١- فى انتظار البرابرة (رواية)	ج . م. كوتزى	ابتسام عبدالله
٢٤٢- سبعة أنماط من الغموض	وليام إمبسون	صبرى محمد حسن
٢٤٣- تاريخ إسبانيا الإسلامية (مج١)	ليفى بروفنسال	بإشراف: صلاح فضل
٢٤٤- الغليان (رواية)	لاورا إسكيبيل	نادية جمال الدين محمد
٢٤٥- نساء مقاتلات	إليزابيتا أديس وآخرون	توفيق على منصور
٢٤٦- مختارات قصصية	جابرييل جارثيا ماركيث	على إبراهيم منوفى
٢٤٧- الثقافة الجماهيرية والحداثة فى مصر	والتر أرمبرست	محمد طارق الشرقاوى
٢٤٨- حقول عدن الخضراء (مسرحية)	أنطونيو جالا	عبداللطيف عبدالحليم
٢٤٩- لغة التمزق (شعر)	دراجو شتامبوك	رفعت سلام
٢٥٠- علم اجتماع العلوم	دومنيك فينك	ماجدة محسن أباظة
٢٥١- موسوعة علم الاجتماع (جـ٢)	جوردون مارشال	بإشراف: محمد الجوهرى
٢٥٢- رائدات الحركة النسوية المصرية	مارجو بدران	على بدران
٢٥٣- تاريخ مصر الفاطمية	ل. أ. سيمينوفا	حسن بيومى
٢٥٤- أقدم لك: الفلسفة	ديف روبنسون وجودى جروفز	إمام عبد الفتاح إمام
٢٥٥- أقدم لك: أفلاطون	ديف روبنسون وجودى جروفز	إمام عبد الفتاح إمام
٢٥٦- أقدم لك: ديكارت	ديف روبنسون وكريس جارات	إمام عبد الفتاح إمام
٢٥٧- تاريخ الفلسفة الحديثة	وليم كلى رايت	محمود سيد أحمد
٢٥٨- الغجر	سير أنجوس فريزر	عُبادة كُحيلة
٢٥٩- مختارات من الشعر الأرمنى عبر العصور	نخبة	فاروجان كازانجيان
٢٦٠- موسوعة علم الاجتماع (جـ٣)	جوردون مارشال	بإشراف: محمد الجوهرى
٢٦١- رحلة فى فكر زكى نجيب محمود	زكى نجيب محمود	إمام عبد الفتاح إمام
٢٦٢- مدينة المعجزات (رواية)	إدواردو مندوثا	محمد أبو العطا
٢٦٣- الكشف عن حافة الزمن	جون جريبين	على يوسف على
٢٦٤- إبداعات شعرية مترجمة	هوراس وشلى	لويس عوض

٢٦٥- روايات مترجمة	أوسكار وايلد وصمويل جونسون	لويس عوض
٢٦٦- مدير المدرسة (رواية)	جلال آل أحمد	عادل عبدالمنعم على
٢٦٧- فن الرواية	ميلان كونديرا	بدر الدين عروبكى
٢٦٨- ديوان شمس تبريزى (جـ٢)	مولانا جلال الدين الرومى	إبراهيم الدسوقى شتا
٢٦٩- وسط الجزيرة العربية وشرقها (جـ١)	وليم جيفور بالجريف	صبرى محمد حسن
٢٧٠- وسط الجزير العربية وشرقها (جـ٢)	وليم جيفور بالجريف	صبرى محمد حسن
٢٧١- الحضارة الغربية: الفكرة والتاريخ	توماس سى. باترسون	شوقى جلال
٢٧٢- الأديرة الأثرية فى مصر	سى. سى. والترز	إبراهيم سلامة إبراهيم
٢٧٣- الأصول الاجتماعية والثقافية لحركة عرابى فى مصر	جوان كول	عنان الشهاوى
٢٧٤- السيدة باربارا (رواية)	رومولو جاييجوس	محمود على مكى
٢٧٥- ت. س. إليوت شاعراً وناقداً وكاتباً مسرحياً	مجموعة من النقاد	ماهر شفيق فريد
٢٧٦- فنون السينما	مجموعة من المؤلفين	عبدالقادر التلمسانى
٢٧٧- الجينات والصراع من أجل الحياة	براين فورد	أحمد فوزى
٢٧٨- البدايات	إسحاق عظيموف	ظريف عبدالله
٢٧٩- الحرب الباردة الثقافية	ف.س. سوندرز	طلعت الشايب
٢٨٠- الأم والنصيب وقصص أخرى	بريم شند وآخرون	سمير عبدالحميد إبراهيم
٢٨١- الفردوس الأعلى (رواية)	عبد الحليم شرر	جلال الحفناوى
٢٨٢- طبيعة العلم غير الطبيعية	لويس وولبرت	سمير حنا صادق
٢٨٣- السهل يحترق وقصص أخرى	خوان رولفو	على عبد الروف البمبى
٢٨٤- هرقل مجنوناً (مسرحية)	يوريبيديس	أحمد عتمان
٢٨٥- رحلة خواجة حسن نظامى الدهلوى	حسن نظامى الدهلوى	سمير عبد الحميد إبراهيم
٢٨٦- سياحت نامه إبراهيم بك (جـ٣)	زين العابدين المراغى	محمود علاوى
٢٨٧- الثقافة والعولمة والنظام العالمى	أنتونى كنج	محمد يحيى وآخرون
٢٨٨- الفن الروائى	ديفيد لودج	ماهر البطوطى
٢٨٩- ديوان منوچهرى الدامغانى	أبو نجم أحمد بن قوص	محمد نور الدين عبدالمنعم
٢٩٠- علم اللغة والترجمة	جورج مونان	أحمد زكريا إبراهيم
٢٩١- تاريخ المسرح الإسبانى فى القرن العشرين (جـ١)	فرانشسكو رويس رامون	السيد عبد الظاهر
٢٩٢- تاريخ المسرح الإسبانى فى القرن العشرين (جـ٢)	فرانشسكو رويس رامون	السيد عبد الظاهر
٢٩٣- مقدمة للأدب العربى	روجر ألن	مجدى توفيق وآخرون
٢٩٤- فن الشعر	بوالو	رجاء ياقوت
٢٩٥- سلطان الأسطورة	جوزيف كامبل وبيل مويرز	بدر الديب
٢٩٦- مكبث (مسرحية)	وليم شكسبير	محمد مصطفى بدوى
٢٩٧- فن النحو بين اليونانية والسريانية	ديونيسيوس ثراكس ويوسف الأهوازى	ماجدة محمد أنور
٢٩٨- مأساة العبيد وقصص أخرى	نخبة	مصطفى حجازى السيد
٢٩٩- ثورة فى التكنولوجيا الحيوية	جين ماركس	هاشم أحمد محمد
٣٠٠- أسطورة بروميثيوس فى الأدبين الإنجليزى والفرنسى (جـ١)	لويس عوض	جمال الجزيرى وبهاء چاهين وإيزابيل كمال
٣٠١- أسطورة بروميثيوس فى الأدبين الإنجليزى والفرنسى (جـ٢)	لويس عوض	جمال الجزيرى و محمد الجندى
٣٠٢- أقدم لك: فتجنشتين	جون هيتون وجودى جروفز	إمام عبد الفتاح إمام

٣٠٣- أقدم لك: بوذا	جين هوب وبورن فان لون	إمام عبد الفتاح إمام
٣٠٤- أقدم لك: ماركس	ريوس	إمام عبد الفتاح إمام
٣٠٥- الجلد (رواية)	كروزيو مالابارته	صلاح عبد الصبور
٣٠٦- الحماسة: النقد الكانطي للتاريخ	جان فرانسوا ليوتار	نبيل سعد
٣٠٧- أقدم لك: الشعور	ديفيد بابينو وهوارد سلينا	محمود مكي
٣٠٨- أقدم لك: علم الوراثة	ستيف جونز وبورين فان لو	ممدوح عبد المنعم
٣٠٩- أقدم لك: الذهن والمخ	أنجوس جيلاتي وأوسكار زاريت	جمال الجزيري
٣١٠- أقدم لك: يونج	ماجي هايد ومايكل ماكجنس	محيي الدين مزيد
٣١١- مقال في المنهج الفلسفي	ر.ج كولنجوود	فاطمة إسماعيل
٣١٢- روح الشعب الأسود	وليم ديبويس	أسعد حليم
٣١٣- أمثال فلسطينية (شعر)	خايير بيان	محمد عبدالله الجعيدي
٣١٤- مارسيل دوشامب: الفن كعدم	جانيس مينيك	هويدا السباعي
٣١٥- جرامشي في العالم العربي	ميشيل بروندينو والطاهر لبيب	كاميليا صبحي
٣١٦- محاكمة سقراط	أي. ف. ستون	نسيم مجلي
٣١٧- بلا غد	س. شير لايموفا- س. زنيكين	أشرف الصباغ
٣١٨- الأدب الروسي في السنوات العشر الأخيرة	مجموعة من المؤلفين	أشرف الصباغ
٣١٩- صور دريدا	جايتري اسبيفاك وكرستوفر نوريس	حسام نايل
٣٢٠- لمعة السراج لحضرة التاج	مؤلف مجهول	محمد علاء الدين منصور
٣٢١- تاريخ إسبانيا الإسلامية (مج٢، جـ١)	ليفي برو فنسال	بإشراف: صلاح فضل
٣٢٢- وجهات نظر حديثة في تاريخ الفن الغربي	دبليو يوجين كلينباور	خالد مفلح حمزة
٣٢٣- فن الساتورا	تراث يوناني قديم	هانم محمد فوزي
٣٢٤- اللعب بالنار (رواية)	أشرف أسدي	محمود علاوي
٣٢٥- عالم الآثار (رواية)	فيليب بوسان	كرستين يوسف
٣٢٦- المعرفة والمصلحة	يورجين هابرماس	حسن صقر
٣٢٧- مختارات شعرية مترجمة (جـ١)	نخبة	توفيق علي منصور
٣٢٨- يوسف وزليخا (شعر)	نور الدين عبد الرحمن الجامي	عبد العزيز بقوش
٣٢٩- رسائل عيد الميلاد (شعر)	تد هيوز	محمد عيد إبراهيم
٣٣٠- كل شيء عن التمثيل الصامت	مارفن شبرد	سامي صلاح
٣٣١- عندما جاء السردين وقصص أخرى	ستيفن جراي	سامية دياب
٣٣٢- شهر العسل وقصص أخرى	نخبة	علي إبراهيم منوفي
٣٣٣- الإسلام في بريطانيا من ١٥٥٨-١٦٨٥	نبيل مطر	بكر عباس
٣٣٤- لقطات من المستقبل	آرثر كلارك	مصطفى إبراهيم فهمي
٣٣٥- عصر الشك: دراسات عن الرواية	ناتالي ساروت	فتحي العشري
٣٣٦- متون الأهرام	نصوص مصرية قديمة	حسن صابر
٣٣٧- فلسفة الولاء	جوزايا رويس	أحمد الأنصاري
٣٣٨- نظرات حائرة وقصص أخرى	نخبة	جلال الحفناوي
٣٣٩- تاريخ الأدب في إيران (جـ٣)	إدوارد براون	محمد علاء الدين منصور
٣٤٠- اضطراب في الشرق الأوسط	بيرش بيربروجلو	فخري لبيب

٢٤١-	قصائد من رلكه (شعر)	راينر ماريا رلكه	حسن حلمى
٢٤٢-	سلامان وأبسال (شعر)	نور الدين عبدالرحمن الجامى	عبد العزيز بقوش
٢٤٣-	العالم البرجوازى الزائل (رواية)	نادين جورديمر	سمير عبد ربه
٢٤٤-	الموت فى الشمس (رواية)	بيتر بالانجيو	سمير عبد ربه
٢٤٥-	الركض خلف الزمان (شعر)	يونه ندائى	يوسف عبد الفتاح فرج
٢٤٦-	سحر مصر	رشاد رشدى	جمال الجزيرى
٢٤٧-	الصبية الطائشون (رواية)	جان كوكتو	بكر الحلو
٢٤٨-	المتصوفة الأولون فى الأدب التركى (جـ١)	محمد فؤاد كوپريلى	عبدالله أحمد إبراهيم
٢٤٩-	دليل القارئ إلى الثقافة الجادة	أرثر والدهورن وآخرون	أحمد عمر شاهين
٢٥٠-	بانوراما الحياة السياحية	مجموعة من المؤلفين	عطية شحاتة
٢٥١-	مبادئ المنطق	جوزايا رويس	أحمد الانصارى
٢٥٢-	قصائد من كفافيس	قسطنطين كفافيس	نعيم عطية
٢٥٣-	الفن الإسلامى فى الأندلس: الزخرفة الهندسية	باسيليو بابون مالدونادو	على إبراهيم منوفى
٢٥٤-	الفن الإسلامى فى الأندلس: الزخرفة النباتية	باسيليو بابون مالدونادو	على إبراهيم منوفى
٢٥٥-	التيارات السياسية فى إيران المعاصرة	حجت مرتجى	محمود علاوى
٢٥٦-	الميراث المر	بول سالم	بدر الرفاعى
٢٥٧-	متون هرمس	تيموثى فريك وبيتر غاندى	عمر الفاروق عمر
٢٥٨-	أمثال الهوسا العامية	نخبة	مصطفى حجازى السيد
٢٥٩-	محاورة بارمنيدس	أفلاطون	حبيب الشارونى
٢٦٠-	أنثروبولوجيا اللغة	أندريه جاكوب ونويلا باركان	ليلى الشربينى
٢٦١-	التصحر: التهديد والمجابهة	الان جرينجر	عاطف معتمد وأمال شاور
٢٦٢-	تلميذ بابنبرج (رواية)	هاينرش شبورل	سيد أحمد فتح الله
٢٦٣-	حركات التحرير الأفريقية	ريتشارد جيبسون	صبرى محمد حسن
٢٦٤-	حداثة شكسبير	إسماعيل سراج الدين	نجلاء أبو عجاج
٢٦٥-	سأم باريس (شعر)	شارل بودلير	محمد أحمد حمد
٢٦٦-	نساء يركضن مع الذئاب	كلاريسا بنكولا	مصطفى محمود محمد
٢٦٧-	القلم الجرىء	مجموعة من المؤلفين	البراق عبدالهادى رضا
٢٦٨-	المصطلح السردي: معجم مصطلحات	جيرالد برنس	عابد خزندار
٢٦٩-	المرأة فى أدب نجيب محفوظ	فوزية العشماوى	فوزية العشماوى
٢٧٠-	الفن والحياة فى مصر الفرعونية	كليرلا لويت	فاطمة عبدالله محمود
٢٧١-	المتصوفة الأولون فى الأدب التركى (جـ٢)	محمد فؤاد كوپريلى	عبدالله أحمد إبراهيم
٢٧٢-	عاش الشباب (رواية)	وانغ مينغ	وحيد السعيد عبدالحميد
٢٧٣-	كيف تعد رسالة دكتوراه	أومبرتو إيكو	على إبراهيم منوفى
٢٧٤-	اليوم السادس (رواية)	أندريه شديد	حمادة إبراهيم
٢٧٥-	الخلود (رواية)	ميلان كونديرا	خالد أبو اليزيد
٢٧٦-	الغضب وأحلام السنين (مسرحيات)	جان أنوى وآخرون	إدوار الخراط
٢٧٧-	تاريخ الأدب فى إيران (جـ٤)	إدوارد براون	محمد علاء الدين منصور
٢٧٨-	المسافر (شعر)	محمد إقبال	يوسف عبدالفتاح فرج

٣٧٩-	ملك في الحديقة (رواية)	ستيل باث	جمال عبدالرحمن
٣٨٠-	حديث عن الخسارة	جونتر جراس	شيرين عبدالسلام
٣٨١-	أساسيات اللغة	ر. ل. تراسك	رانيا إبراهيم يوسف
٣٨٢-	تاريخ طبرستان	بهاء الدين محمد إسفنديار	أحمد محمد نادى
٣٨٣-	هدية الحجاز (شعر)	محمد إقبال	سمير عبدالحميد إبراهيم
٣٨٤-	القصص التي يحكيها الأطفال	سوزان إنجيل	إيزابيل كمال
٣٨٥-	مشترى العشق (رواية)	محمد على بهزادراد	يوسف عبدالفتاح فرج
٣٨٦-	دفاعًا عن التاريخ الأدبي النسوى	جانيت تود	ريهام حسين إبراهيم
٣٨٧-	أغنيات وسوناتات (شعر)	جون دن	بهاء چاهين
٣٨٨-	مواعظ سعدى الشيرازى (شعر)	سعدى الشيرازى	محمد علاء الدين منصور
٣٨٩-	تفاهم وقصص أخرى	نخبة	سمير عبدالحميد إبراهيم
٣٩٠-	الأرشيفات والمدن الكبرى	إم. في. روبرتس	عثمان مصطفى عثمان
٣٩١-	الحافلة الليلكية (رواية)	مايف بينشى	منى الدروبى
٣٩٢-	مقامات ورسائل أندلسية	فرناندو دى لاجرانجا	عبداللطيف عبدالحليم
٣٩٣-	في قلب الشرق	ندوة لويس ماسينيون	زينب محمود الخضيرى
٣٩٤-	القوى الأربع الأساسية في الكون	بول ديفيز	هاشم أحمد محمد
٣٩٥-	آلام سياوش (رواية)	إسماعيل فصيح	سليم عبد الأمير حمدان
٣٩٦-	السافاك	تقى نجارى راد	محمود علاوى
٣٩٧-	أقدم لك: نيتشه	لورانس جين وكيتى شين	إمام عبدالفتاح إمام
٣٩٨-	أقدم لك: سارتر	فيليب تودى وهوارد ريد	إمام عبدالفتاح إمام
٣٩٩-	أقدم لك: كامى	ديفيد ميروفتش وألن كوركس	إمام عبدالفتاح إمام
٤٠٠-	مومو (رواية)	ميشائيل إنده	باهر الجوهرى
٤٠١-	أقدم لك: علم الرياضيات	زياودن ساردر وآخرون	ممدوح عبد المنعم
٤٠٢-	أقدم لك: ستيفن هوكنج	ج. ب. ماك إيفوى وأوسكار زاريت	ممدوح عبدالمنعم
٤٠٣-	ربة المطر والملابس تصنع الناس (روايتان)	تودور شتورم وجوتفرد كولر	عماد حسن بكر
٤٠٤-	تعويذة الحسى	ديفيد إبرام	ظبية خميس
٤٠٥-	إيزابيل (رواية)	أندريه جيد	حمادة إبراهيم
٤٠٦-	المستعربون الإسبان في القرن ١٩	مانويلا مانتاناريس	جمال عبد الرحمن
٤٠٧-	الأدب الإسباني المعاصر بأقلام كتابه	مجموعة من المؤلفين	طلعت شاهين
٤٠٨-	معجم تاريخ مصر	جوان فوتشركنج	عنان الشهاوى
٤٠٩-	انتصار السعادة	برتراند راسل	إلهامى عمارة
٤١٠-	خلاصة القرن	كارل بوبر	الزواوى بغورة
٤١١-	همس من الماضى	جينيفر أكرمان	أحمد مستجير
٤١٢-	تاريخ إسبانيا الإسلامية (مج٢، جـ٢)	ليفى بروفنسال	بإشراف: صلاح فضل
٤١٣-	أغنيات المنفى (شعر)	ناظم حكمت	محمد البخارى
٤١٤-	الجمهورية العالمية للآداب	باسكال كازانوفا	أمل الصبان
٤١٥-	صورة كوكب (مسرحية)	فريدريش دورينمات	أحمد كامل عبدالرحيم
٤١٦-	مبادئ النقد الأدبي والعلم والشعر	أ. أ. رتشاردز	محمد مصطفى بدوى

٤١٧-	تاريخ النقد الأدبي الحديث (جـ٥)	رينيه ويليك	مجاهد عبدالمنعم مجاهد
٤١٨-	سياسات الزمر الحاكمة في مصر العثمانية	جين هاثواى	عبد الرحمن الشيخ
٤١٩-	العصر الذهبي للإسكندرية	جون مارلو	نسيم مجلى
٤٢٠-	مكرو ميجاس (قصة فلسفية)	فولتير	الطيب بن رجب
٤٢١-	الولاء والقيادة فى المجتمع الإسلامى الأول	روى متحدة	أشرف كيلانى
٤٢٢-	رحلة لاستكشاف أفريقيا (جـ١)	ثلاثة من الرحالة	عبدالله عبدالرازق إبراهيم
٤٢٣-	إسراءات الرجل الطيف	نخبة	وحيد النقاش
٤٢٤-	لوائح الحق ولوامع العشق (شعر)	نور الدين عبدالرحمن الجامى	محمد علاء الدين منصور
٤٢٥-	من طاووس إلى فرح	محمود طلوعى	محمود علاوى
٤٢٦-	الخفافيش وقصص أخرى	نخبة	محمد علاء الدين منصور وعبد الحفيظ يعقوب
٤٢٧-	بانديراس الطاغية (رواية)	باى إنكلان	ثريا شلبى
٤٢٨-	الخزانة الخفية	محمد هوتك بن داود خان	محمد أمان صافى
٤٢٩-	أقدم لك: هيجل	ليود سبنسر وأندزجى كروز	إمام عبدالفتاح إمام
٤٣٠-	أقدم لك: كانط	كرستوفر وانت وأندزجى كليموفسكى	إمام عبدالفتاح إمام
٤٣١-	أقدم لك: فوكو	كريس هوروكس وزوران جفتيك	إمام عبدالفتاح إمام
٤٣٢-	أقدم لك: ماكيافللى	باتريك كيرى وأوسكار زاريت	إمام عبدالفتاح إمام
٤٣٣-	أقدم لك: جويس	ديفيد نوريس وكارل فلنت	حمدى الجابرى
٤٣٤-	أقدم لك: الرومانسية	دونكان هيث وجودى بورهام	عصام حجازى
٤٣٥-	توجهات ما بعد الحداثة	نيكولاس زربرج	ناجى رشوان
٤٣٦-	تاريخ الفلسفة (مج١)	فردريك كوبلستون	إمام عبدالفتاح إمام
٤٣٧-	رحالة هندى فى بلاد الشرق العربى	شبلى النعمانى	جلال الحفناوى
٤٣٨-	بطلات وضحايا	إيمان ضياء الدين بيبرس	عايدة سيف الدولة
٤٣٩-	موت المرابى (رواية)	صدر الدين عينى	محمد علاء الدين منصور وعبد الحفيظ يعقوب
٤٤٠-	قواعد اللهجات العربية الحديثة	كرستن بروستاد	محمد طارق الشرقاوى
٤٤١-	رب الأشياء الصغيرة (رواية)	أرونداتى روى	فخرى لبيب
٤٤٢-	حتشبسوت: المرأة الفرعونية	فوزية أسعد	ماهر جويجاتى
٤٤٣-	اللغة العربية: تاريخها ومستوياتها وتأثيرها	كيس فرستيغ	محمد طارق الشرقاوى
٤٤٤-	أمريكا اللاتينية: الثقافات القديمة	لاوريت سيجورنه	صالح علمانى
٤٤٥-	حول وزن الشعر	پرويز ناتل خانلرى	محمد محمد يونس
٤٤٦-	التحالف الأسود	الكسندر كوكبرن وجيفرى سانت كلير	أحمد محمود
٤٤٧-	أقدم لك: نظرية الكم	ج. ب. ماك إيفوى وأوسكار زاريت	ممدوح عبدالمنعم
٤٤٨-	أقدم لك: علم نفس التطور	ديلان إيفانز وأوسكار زاريت	ممدوح عبدالمنعم
٤٤٩-	أقدم لك: الحركة النسوية	نخبة	جمال الجزيرى
٤٥٠-	أقدم لك: ما بعد الحركة النسوية	صوفيا فوكا وريبيكا رايت	جمال الجزيرى
٤٥١-	أقدم لك: الفلسفة الشرقية	ريتشارد أوزبورن وبورن فان لون	إمام عبد الفتاح إمام
٤٥٢-	أقدم لك: لينين والثورة الروسية	ريتشارد إبجينانزى وأوسكار زاريت	محيى الدين مزيد
٤٥٣-	القاهرة: إقامة مدينة حديثة	جان لوك أرنو	حليم طوسون وفؤاد الدهان
٤٥٤-	خمسون عامًا من السينما الفرنسية	رينيه بريدال	سوزان خليل

٤٥٥-	تاريخ الفلسفة الحديثة (مج٥)	فردريك كوبلستون	محمود سيد أحمد
٤٥٦-	لا تتسنى (رواية)	مريم جعفرى	هويدا عزت محمد
٤٥٧-	النساء في الفكر السياسي الغربي	سوزان موللر أوكين	إمام عبدالفتاح إمام
٤٥٨-	الموريسكيون الأندلسيون	مرثيديس غارثيا أرينال	جمال عبد الرحمن
٤٥٩-	نحو مفهوم لاقتصاديات الموارد الطبيعية	توم تيتنبرج	جلال البنا
٤٦٠-	أقدم لك: الفاشية والنازية	ستوارت هود وليتزا جانستز	إمام عبدالفتاح إمام
٤٦١-	أقدم لك: لكان	داريان ليدر وجودى جروفز	إمام عبدالفتاح إمام
٤٦٢-	طه حسين من الأزهر إلى السوربون	عبدالرشيد الصادق محمودى	عبدالرشيد الصادق محمودى
٤٦٣-	الدولة المارقة	ويليام بلوم	كمال السيد
٤٦٤-	ديمقراطية للقلة	مايكل بارنتى	حصة إبراهيم المنيف
٤٦٥-	قصص اليهود	لويس جنزبيرج	جمال الرفاعى
٤٦٦-	حكايات حب وبطولات فرعونية	فيولين فانويك	فاطمة عبد الله
٤٦٧-	التفكير السياسي والنظرة السياسية	ستيفين ديلو	ربيع وهبة
٤٦٨-	روح الفلسفة الحديثة	جوزايا رويس	أحمد الأنصارى
٤٦٩-	جلال الملوك	نصوص حبشية قديمة	مجدى عبدالرازق
٤٧٠-	الأراضى والجودة البيئية	جارى م. بيرزنسكى وآخرون	محمد السيد الننة
٤٧١-	رحلة لاستكشاف أفريقيا (جـ٢)	ثلاثة من الرحالة	عبد الله عبد الرازق إبراهيم
٤٧٢-	دون كيخوتى (القسم الأول)	ميجيل دى ثربانتس سابيدرا	سليمان العطار
٤٧٣-	دون كيخوتى (القسم الثانى)	ميجيل دى ثربانتس سابيدرا	سليمان العطار
٤٧٤-	الأدب والنسوية	بام موريس	سهام عبدالسلام
٤٧٥-	صوت مصر: أم كلثوم	فرجينيا دانيلسون	عادل هلال عنانى
٤٧٦-	أرض الحبايب بعيدة: بيرم التونسى	ماريلين بوث	سحر توفيق
٤٧٧-	تاريخ الصين منذ ما قبل التاريخ حتى القرن العشرين	هيلدا هوخام	أشرف كيلانى
٤٧٨-	الصين والولايات المتحدة	ليوشيه شنج و لى شى دونج	عبد العزيز حمدى
٤٧٩-	المقهـــى (مسرحية)	لاو شه	عبد العزيز حمدى
٤٨٠-	تساى ون جى (مسرحية)	كو مو روا	عبد العزيز حمدى
٤٨١-	بردة النبى	روى متحدة	رضوان السيد
٤٨٢-	موسوعة الأساطير والرموز الفرعونية	روبير جاك تيبو	فاطمة عبد الله
٤٨٣-	النسوية وما بعد النسوية	سارة جامبل	أحمد الشامى
٤٨٤-	جمالية التلقى	هانسن روبيرت ياوس	رشيد بنحدو
٤٨٥-	التوبة (رواية)	نذير أحمد الدهلوى	سمير عبدالحميد إبراهيم
٤٨٦-	الذاكرة الحضارية	يان أسمن	عبدالحليم عبدالغنى رجب
٤٨٧-	الرحلة الهندية إلى الجزيرة العربية	رفيع الدين المراد آبادى	سمير عبدالحميد إبراهيم
٤٨٨-	الحب الذى كان وقصائد أخرى	نخبة	سمير عبدالحميد إبراهيم
٤٨٩-	هُسِّرل: الفلسفة علمًا دقيقًا	إدموند هُسِّرل	محمود رجب
٤٩٠-	أسمار الببغاء	محمد قادرى	عبد الوهاب علوب
٤٩١-	نصوص قصصية من روائع الأدب الأفريقى	نخبة	سمير عبد ربه
٤٩٢-	محمد على مؤسس مصر الحديثة	جى فارجيت	محمد رفعت عواد

٤٩٣-	خطابات إلى طالب الصوتيات	هارولد بالمر	محمد صالح الضالع
٤٩٤-	كتاب الموتى: الخروج في النهار	نصوص مصرية قديمة	شريف الصيفي
٤٩٥-	اللوبي	إدوارد تيفان	حسن عبد ربه المصري
٤٩٦-	الحكم والسياسة في أفريقيا (جـ١)	إكوادو بانولي	مجموعة من المترجمين
٤٩٧-	العلمانية والنوع والدولة في الشرق الأوسط	نادية العلي	مصطفى رياض
٤٩٨-	النساء والنوع في الشرق الأوسط الحديث	جوديث تاكر ومارجريت مريويذر	أحمد علي بدوي
٤٩٩-	تقاطعات: الأمة والمجتمع والنوع	مجموعة من المؤلفين	فيصل بن خضراء
٥٠٠-	في طفولتي: دراسة في السيرة الذاتية العربية	تيتز رووكي	طلعت الشايب
٥٠١-	تاريخ النساء في الغرب (جـ١)	أرثر جولد هامر	سحر فراج
٥٠٢-	أصوات بديلة	مجموعة من المؤلفين	هالة كمال
٥٠٣-	مختارات من الشعر الفارسي الحديث	نخبة من الشعراء	محمد نور الدين عبدالمنعم
٥٠٤-	كتابات أساسية (جـ١)	مارتن هايدجر	إسماعيل المصدق
٥٠٥-	كتابات أساسية (جـ٢)	مارتن هايدجر	إسماعيل المصدق
٥٠٦-	ربما كان قديساً (رواية)	آن تيلر	عبدالحميد فهمي الجمال
٥٠٧-	سيدة الماضي الجميل (مسرحية)	بيتر شيفر	شوقي فهيم
٥٠٨-	المولوية بعد جلال الدين الرومي	عبدالباقي جلبنارلي	عبدالله أحمد إبراهيم
٥٠٩-	الفقر والإحسان في عصر سلاطين المماليك	آدم صبرة	قاسم عبده قاسم
٥١٠-	الأرملة الماكرة (مسرحية)	كارلو جولدوني	عبدالرازق عيد
٥١١-	كوكب مرقَّع (رواية)	آن تيلر	عبدالحميد فهمي الجمال
٥١٢-	كتابة النقد السينمائي	تيموثي كوريجان	جمال عبد الناصر
٥١٣-	العلم الجسور	تيد أنتون	مصطفى إبراهيم فهمي
٥١٤-	مدخل إلى النظرية الأدبية	جونثان كولر	مصطفى بيومي عبد السلام
٥١٥-	من التقليد إلى ما بعد الحداثة	فدوى مالطي دوجلاس	فدوى مالطي دوجلاس
٥١٦-	إرادة الإنسان في علاج الإدمان	أرنولد واشنطون ودونا باوندي	صبري محمد حسن
٥١٧-	نقش على الماء وقصص أخرى	نخبة	سمير عبد الحميد إبراهيم
٥١٨-	استكشاف الأرض والكون	إسحق عظيموف	هاشم أحمد محمد
٥١٩-	محاضرات في المثالية الحديثة	جوزايا رويس	أحمد الأنصاري
٥٢٠-	الولع الفرنسي بمصر من الحلم إلى المشروع	أحمد يوسف	أمل الصبان
٥٢١-	قاموس تراجم مصر الحديثة	أرثر جولد سميث	عبدالوهاب بكر
٥٢٢-	إسبانيا في تاريخها	أميركو كاسترو	علي إبراهيم منوفي
٥٢٣-	الفن الطليطلي الإسلامي والمدجن	باسيليو بابون مالدونادو	علي إبراهيم منوفي
٥٢٤-	الملك لير (مسرحية)	وليم شكسبير	محمد مصطفى بدوي
٥٢٥-	موسم صيد في بيروت وقصص أخرى	دنيس جونسون	نادية رفعت
٥٢٦-	أقدم لك: السياسة البيئية	ستيفن كرول ووليم رانكين	محيي الدين مزيد
٥٢٧-	أقدم لك: كافكا	ديفيد زين ميروفتس وروبرت كرمب	جمال الجزيري
٥٢٨-	أقدم لك: تروتسكي والماركسية	طارق علي وفِلْ إيفانز	جمال الجزيري
٥٢٩-	بدائع العلامة إقبال في شعره الأردي	محمد إقبال	حازم محفوظ وحسين نجيب المصري
٥٣٠-	مدخل عام إلى فهم النظريات التراثية	رينيه جينو	عمر الفاروق عمر

٥٣١- ما الذي حَدَثَ في حَدَثِ ١١ سبتمبر؟	جاك دريدا	صفاء فتحي
٥٣٢- المغامرُ والمستشرق	هنرى لورنس	بشير السباعي
٥٣٣- تعلُّم اللغة الثانية	سوزان جاس	محمد طارق الشرقاوى
٥٣٤- الإسلاميون الجزائريون	سيفرين لابا	حمادة إبراهيم
٥٣٥- مخزن الأسرار (شعر)	نظامى الكنجوى	عبدالعزيز بقوش
٥٣٦- الثقافات وقيم التقدم	صمويل هنتنجتون ولورانس هاريزون	شوقى جلال
٥٣٧- للحب والحرية (شعر)	نخبة	عبدالغفار مكاوى
٥٣٨- النفس والآخر في قصص يوسف الشارونى	كيت دانيلر	محمد الحديدى
٥٣٩- خمس مسرحيات قصيرة	كاريل تشرشل	محسن مصيلحى
٥٤٠- توجهات بريطانية - شرقية	السير رونالد ستورس	رءوف عباس
٥٤١- هى تتخيل وهلاوس أخرى	خوان خوسيه مياس	مروة رزق
٥٤٢- قصص مختارة من الأدب اليونانى الحديث	نخبة	نعيم عطية
٥٤٣- أقدم لك: السياسة الأمريكية	باتريك بروجان وكريس جرات	وفاء عبدالقادر
٥٤٤- أقدم لك: ميلانى كلاين	روبرت هنشل وآخرون	حمدى الجابرى
٥٤٥- يا له من سباق محموم	فرانسيس كريك	عزت عامر
٥٤٦- ريموس	ت. ب. وايزمان	توفيق على منصور
٥٤٧- أقدم لك: بارت	فيليب تودى وأن كورس	جمال الجزيرى
٥٤٨- أقدم لك: علم الاجتماع	ريتشارد أوزبرن وبورن فان لون	حمدى الجابرى
٥٤٩- أقدم لك: علم العلامات	بول كوبلى وليتاجانز	جمال الجزيرى
٥٥٠- أقدم لك: شكسبير	نيك جروم وبيرو	حمدى الجابرى
٥٥١- الموسيقى والعولمة	سايمون ماندى	سمحة الخولى
٥٥٢- قصص مثالية	ميجيل دى ثربانتس	على عبد الرءوف البمبى
٥٥٣- مدخل للشعر الفرنسى الحديث والمعاصر	دانيال لوفرس	رجاء ياقوت
٥٥٤- مصر فى عهد محمد على	عفاف لطفى السيد مارسوه	عبدالسميع عمر زين الدين
٥٥٥- الإستراتيجية الأمريكية للقرن الحادى والعشرين	أناتولى أوتكين	أنور محمد إبراهيم ومحمد نصرالدين الجبالى
٥٥٦- أقدم لك: جان بودريار	كريس هوروكس وزوران جيفتك	حمدى الجابرى
٥٥٧- أقدم لك: الماركيز دى ساد	ستوارت هود وجراهام كرولى	إمام عبدالفتاح إمام
٥٥٨- أقدم لك: الدراسات الثقافية	زيودين ساردار وبورين فان لون	إمام عبدالفتاح إمام
٥٥٩- الماس الزائف (رواية)	تشا تشاجى	عبدالحى أحمد سالم
٥٦٠- صلصلة الجرس (شعر)	محمد إقبال	جلال السعيد الحفناوى
٥٦١- جناح جبريل (شعر)	محمد إقبال	جلال السعيد الحفناوى
٥٦٢- بلايين وبلايين	كارل ساجان	عزت عامر
٥٦٣- ورود الخريف (مسرحية)	خاثينتو بينابينتى	صبرى محمدى التهامى
٥٦٤- عُش الغريب (مسرحية)	خاثينتو بينابينتى	صبرى محمدى التهامى
٥٦٥- الشرق الأوسط المعاصر	ديبورا ج. جيرنر	أحمد عبدالحميد أحمد
٥٦٦- تاريخ أوروبا فى العصور الوسطى	موريس بيشوب	على السيد على
٥٦٧- الوطن المغتصب	مايكل رايس	إبراهيم سلامة إبراهيم
٥٦٨- الأصولى فى الرواية	عبد السلام حيدر	عبد السلام حيدر

٥٦٩-	موقع الثقافة	هومی بابا	ثائر ديب
٥٧٠-	دول الخليج الفارسی	سير رويرت های	يوسف الشارونی
٥٧١-	تاريخ النقد الإسبانی المعاصر	إيميليا دی ثوليتا	السيد عبد الظاهر
٥٧٢-	الطب فی زمن الفراعنة	برونو أليوا	كمال السيد
٥٧٣-	أقدم لك: فرويد	ريتشارد ابيجنانس وأسكار زارتی	جمال الجزيری
٥٧٤-	مصر القديمة فی عيون الإيرانيين	حسن بيرنيا	علاء الدين السباعی
٥٧٥-	الاقتصاد السياسی للعولمة	نجير وودز	أحمد محمود
٥٧٦-	فكر ثربانتس	أمريكو كاسترو	ناهد العشری محمد
٥٧٧-	مغامرات بينوكيو	كارلو كولودی	محمد قدری عمارة
٥٧٨-	الجماليات عند كيتس وهنت	أيومی ميزوكوشی	محمد إبراهيم وعصام عبد الروف
٥٧٩-	أقدم لك: تشومسكی	جون ماهر وجودی جرونز	محيی الدين مزيد
٥٨٠-	دائرة المعارف الدولية (مج١)	جون فيزر وبول سيترجز	بإشراف: محمد فتحی عبدالهادی
٥٨١-	الحمقی يموتون (رواية)	ماريو بوزو	سليم عبد الأمير حمدان
٥٨٢-	مرايا علی الذات (رواية)	هوشنك كلشيری	سليم عبد الأمير حمدان
٥٨٣-	الجيران (رواية)	أحمد محمود	سليم عبد الأمير حمدان
٥٨٤-	سفر (رواية)	محمود دولت آبادی	سليم عبد الأمير حمدان
٥٨٥-	الأمير احتجاب (رواية)	هوشنك كلشيری	سليم عبد الأمير حمدان
٥٨٦-	السينما العربية والأفريقية	ليزبيث مالكموس وروی أرمز	سهام عبد السلام
٥٨٧-	تاريخ تطور الفكر الصينی	مجموعة من المؤلفين	عبدالعزيز حمدی
٥٨٨-	أمنحوتب الثالث	أنييس كابرول	ماهر جويجاتی
٥٨٩-	تمبكت العجيبة (رواية)	فيلكس دييوا	عبدالله عبدالرازق إبراهيم
٥٩٠-	أساطير من الموروثات الشعبية الفنلندية	نخبة	محمود مهدی عبدالله
٥٩١-	الشاعر والمفكر	هوراتيوس	علی عبدالتواب علی وصلاح رمضان السيد
٥٩٢-	الثورة المصرية (جـ١)	محمد صبری السوربونی	مجدی عبدالحافظ وعلی كورخان
٥٩٣-	قصائد ساحرة	بول فاليری	بكر الحلو
٥٩٤-	القلب السمين (قصة أطفال)	سوزانا تامارو	أمانی فوزی
٥٩٥-	الحكم والسياسة فی أفريقيا (جـ٢)	إكوانو بانولی	مجموعة من المترجمين
٥٩٦-	الصحة العقلية فی العالم	روبرت ديجارليه وآخرون	إيهاب عبدالرحيم محمد
٥٩٧-	مسلمو غرناطة	خوليو كاروباروخا	جمال عبدالرحمن
٥٩٨-	مصر وكنعان وإسرائيل	دونالد ريدفورد	بيومی علی قنديل
٥٩٩-	فلسفة الشرق	هرداد مهرين	محمود علاوی
٦٠٠-	الإسلام فی التاريخ	برنارد لويس	مدحت طه
٦٠١-	النسوية والمواطنة	ريان فوت	أيمن بكر وسمر الشيشكلی
٦٠٢-	ليوتار:نحو فلسفة ما بعد حداثية	جيمس وليامز	إيمان عبدالعزيز
٦٠٣-	النقد الثقافی	آرثر أيزابرجر	وفاء إبراهيم ورمضان بسطاويسی
٦٠٤-	الكوارث الطبيعية (مج١)	باتريك ل. أبوت	توفيق علی منصور
٦٠٥-	مخاطر كوكبنا المضطرب	إرنست زيبروسكی (الصغير)	مصطفی إبراهيم فهمی

طبع بالهيئة العامة لشئون المطابع الأميرية

رقم الإيداع ١٧٧٢١ / ٢٠٠٣

وبهذا الهدف يبدأ كتاب "مخاطر كوكبنا المضطرب" بعرض تاريخي لبعض الكوارث التى حدثت قديما، ثم يعرض لتطور تجارب البحث العلمية والنظريات التى سادت فى تاريخ العلم الحديث. ويتناول الكتاب بعدها شتى الكوارث الطبيعية، شارحًا كلا منها ليعرفنا بأنواعه وأسبابه وأضراره. فنعرف مثلاً كيف تحدث الزلازل نتيجة تحركات فى ألواح القشرة الأرضية، وكيف ن منها زلازل رفع وزلازل خسف لهذه الالواح، وكيف تنتج عن الزلازل والبراكين البحرية موجات بحرية هائلة "تسونامى" تغرق مدنًا بأكملها وترفع السفن الراسية فى الموانئ لتحط بها فى صحراوات داخل الأرض بعيدًا عن البحر. ويعرفنا الكتاب أيضًا بالعواصف المدمرة وأنواعها من عواصف استوائية وزوابع حلزونية وأعصاير قُمعية، وكيف تتكون وكيف تتزايد عنفًا وتدميرًا لتموت فى النهاية.

الغلاف: نجلاء فتحى